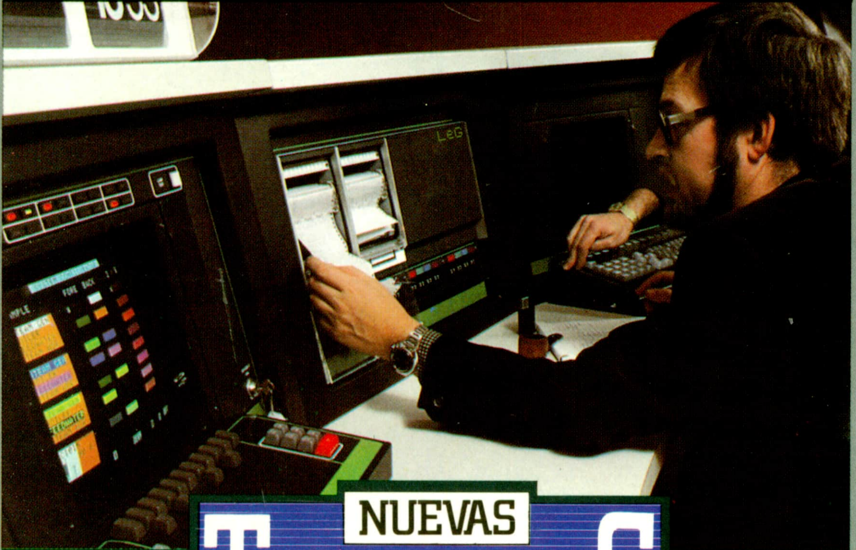
RELES Y TEMPORIZADORES



NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

ORBIS
marcombo

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

RELES Y TEMPORIZADORES

ORBIS
marcombo

Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-530-1 (Vol. 22)
D. L.: B. 18458-1986

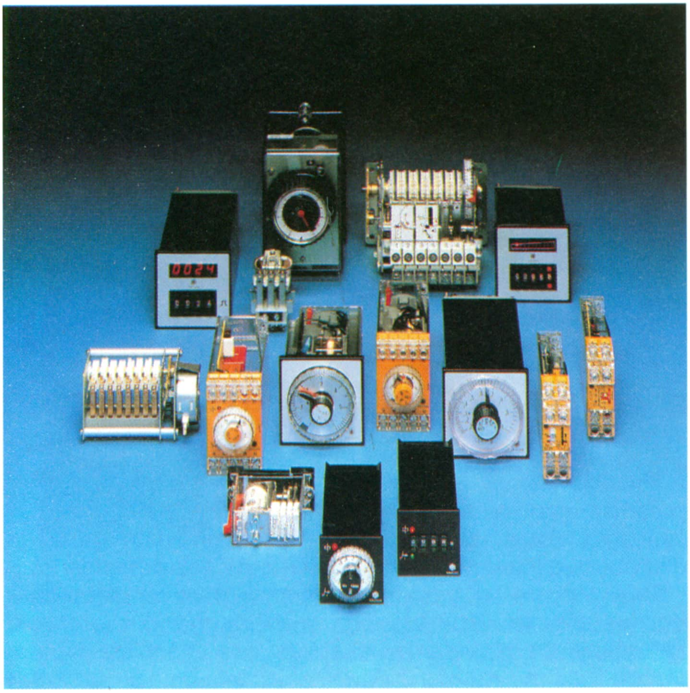
Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa Provenza, 388 08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts 1986

Printed in Spain

Relés y temporizadores

INTRODUCCION

Los relés y los temporizadores son elementos muy comunes en los circuitos electrónicos. La Asociación de fabricantes de relés de EE.UU. (NARM) define el relé como *un elemento controlado eléctricamente que abre o cierra unos contactos como efecto de la influencia de otros elementos, en él mismo o en otro circuito eléctrico.* Esta definición, al referirse a unos contactos, restringe ésta a la forma más común de los relés: el relé electromagnético. En este libro extenderemos la definición de relé hasta englobar a los relés estáticos. Son dispositivos que realizan la fun-



Muestrario de dispositivos entre los que se incluyen varios modelos de los componentes tratados en este libro. Se observan varios temporizadores electromecánicos con indicación analógica y digital, contadores de impulsos, así como relés de enclavamiento, de funcionamiento intermitente, paso a paso y para mediciones. (Cortesía: Elion).

ción de interrupción de una forma similar y compatible con los modos de conmutación e interrupción asociados a los relés electromagnéticos convencionales, pero con más rapidez que éstos, más fiabilidad y durante un tiempo mayor, careciendo de partes móviles. Los dos tipos de relé tienen una característica común importante: presentan una separación galvánica entre el circuito de mando y el de salida, es decir, el circuito de control y el circuito de salida están aislados. Ello permite utilizar relés como elementos de acoplamiento de señal. En la tabla se pueden observar las ventajas y los inconvenientes de distintos elementos acopladores de señal en comparación con los relés. Hasta hace poco, los circuitos acopladores de señal eran relés electromecánicos, pero actualmente los conmutadores electrónicos (llamados conmutadores analógicos) se utilizan en muchas aplicaciones.

ELEMENTO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Optoaislador	Económico Estado sólido Velocidad de transmisión media o alta Transmisión de continua y bajas frecuencias Alta tensión de aislamiento Alta impedancia de aislamiento Encapsulado plástico tipo CI Sin contactos ni rebotes Funcionamiento de baja potencia	Resistencia de conducción finita Resistencia de no conducción finita Intensidad de conducción limitada Tensión en bornes limitada en estado de no conducción Eficiencia de transmisión baja
Transfornador de impulsos	Alta velocidad de transmisión tamaño moderado Buena eficiencia de transmisión	No puede transmitir continua o baja frecuencia Caro con alta impedancia o tensión de aislamiento
Gobernadores y receptores de línea diferenciales	Estado sólido Encapsulado tipo CI Alta velocidad de transmisión Transmisión de continua Bajo coste	Tensión de ruptura muy baja Baja impedancia de aislamiento
Relés electromagnéticos	Capacidad de gobernar mucha potencia (comparativamente) Resistencia de conducción muy baja Transmisión de tensión continua Alta tensión de aislamiento	Alto coste Consumo muy alto Elementos móviles Funcionamiento muy lento, medidas grandes

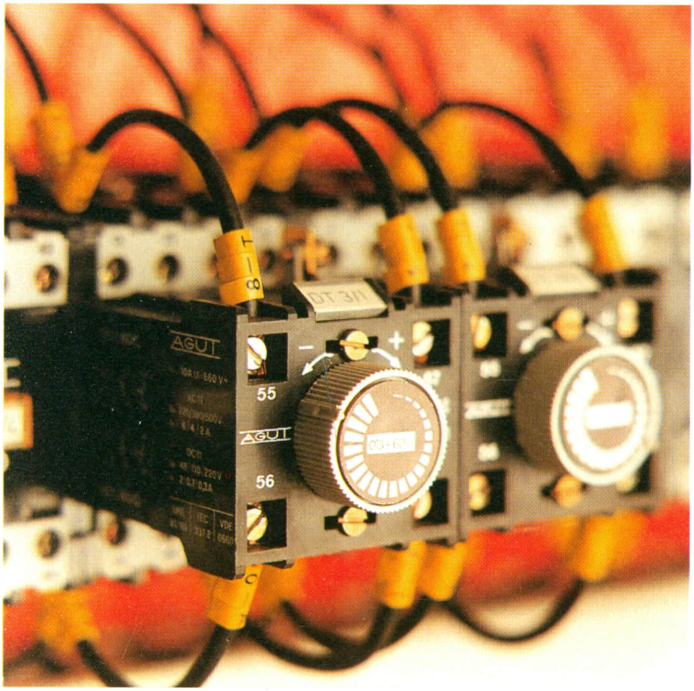
Tabla comparativa de las ventajas e inconvenientes de diversos elementos acopladores de señal, respecto al relé de tipo electromagnético.

Cuando estos conmutadores deben gobernar mucha potencia generalmente se les llama relés estáticos. Por supuesto, estos relés estáticos tienen una configuración distinta que hace posible el gobierno de esa potencia.

Básicamente, un interruptor electrónico es un dispositivo que permite la circulación de corriente (unidireccional o bidireccional) cuando se le aplica una señal de mando, utilizando únicamente elementos de estado sólido. Estos

pueden ser transistores bipolares, transistores de efecto de campo FET, tiristores y triacs. Los dos primeros se utilizan más bien para señales de baja potencia, aunque algunos de ellos puedan llegar a gobernar potencias considerables. Los otros dos elementos son más adecuados para trabajar con altas potencias, empleándose incluso en la distribución de energía.

Los temporizadores son elementos que controlan tiempo. Estos pueden ser electromecánicos o electrónicos. Los electromecánicos cada vez tienen una menor incidencia en el mercado. Por ello y por ser ésta una enciclopedia electrónica nos ceñiremos a los temporizadores electrónicos.



Los temporizadores controlan la actuación de los circuitos, abriendo o cerrando el paso de la corriente, una vez que ha transcurrido un tiempo prefijado de antemano. Los temporizadores de la figura actúan dentro de un margen de tiempo comprendido entre 0,3 y 60 segundos. (Cortesía: Agut).

Dentro de las posibles clasificaciones, una de ellas podría ser la que distingue los temporizadores analógicos de los digitales y otra la que distingue entre los de alta precisión y poca duración de los de mediana precisión y gran duración.

En el mercado existen diversas configuraciones de temporizadores que se pueden adaptar a prácticamente todas las exigencias del usuario, no obstante aquí analizaremos el funcionamiento interno. Con frecuencia, el elemento final de un temporizador es un relé electromecánico, pero a pesar de ello los dos temas serán analizados separadamente.

RELES

Los relés eléctricos (electromagnéticos) o electromecánicos) accionan otros dispositivos al incidir sobre ellos una magnitud eléctrica, ello se efectúa con contactos y a través de circuitos auxiliares. Ya hemos dicho que en el caso de los relés estáticos los contactos no existen, pero pueden realizar las mismas funciones de una forma más rápida y fiable.

RELES DE CONEXION	
Grupos	*Propiedades*
Relés auxiliares sin retardo	Refuerzo y aumento de contactos
Relés de retardo	Relés auxiliares retardados sin escala
Relés de tiempo	Retardados con escala
Relés de aviso	Para avisos con indicación óptica, también intermitentes
Relés oscilantes (biestables)	Dos posiciones enclavadas, también relés de retención
Relés de conexión progresiva	Dos o más posiciones
RELES DE MEDICION	
Grupos	*Propiedades*
Relés de vigilancia	Relés de intensidad, tensión y potencia
Relés de protección para máquinas y redes	Relés de vigilancia de contacto a tierra y aislamiento
Relés de protección para redes	Relés de sobreintensidad, de tensión mínima, relés temporizados de sobreintensidad independientes o dependientes (térmicos)
	Relés direccionales de sobreintensidad y relés de distancia
Relés de protección para transformadores y generadores	Relés diferenciales y asimétricos (de carga desequilibrada)

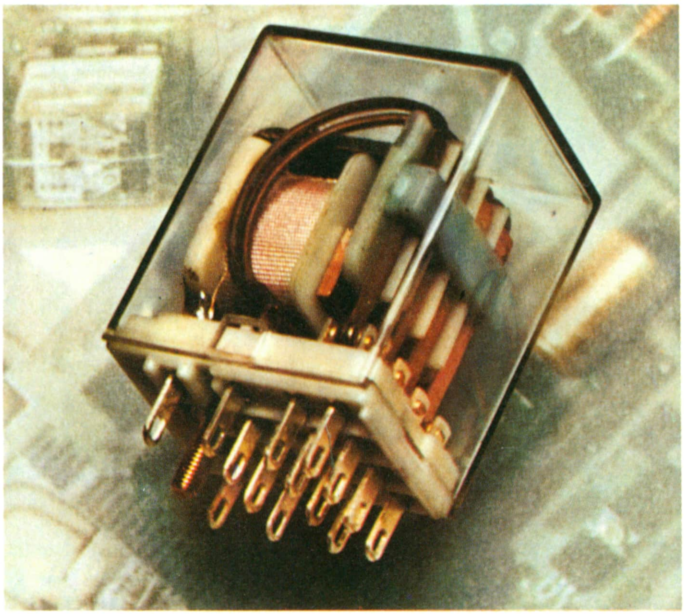
Clasificación de los relés electromecánicos, en función de sus aplicaciones y propiedades.

En primer lugar nos ceñiremos a los relés electromagnéticos. Estos se pueden clasificar de muchas formas en función del punto de vista del futuro usuario. Una primera clasificación podría ser la del Manual AEG-Telefunken mostrada en la tabla. Esta clasificación puede interesar más a un electrotécnico que a un electrónico, pero es válida para una visión general de los relés. Si clasificamos los relés por su salida lo haremos por sus contactos y los dividiremos en:

1) Carga en continua de poca potencia.
2) Carga en continua de media potencia.
3) Carga en continua de alta potencia.

4) Carga en alterna de poca potencia.
5) Carga en alterna de media potencia.
6) Carga en alterna de alta potencia.
7) Cargas especiales (relés coaxiales para alta frecuencia, etc.).
8) Contactos especiales (contactos herméticos, reed, de mercurio, etc.)

Por su entrada y atendiendo a su bobina, se dividen en relés de continua y relés de alterna. Por la dureza de sus

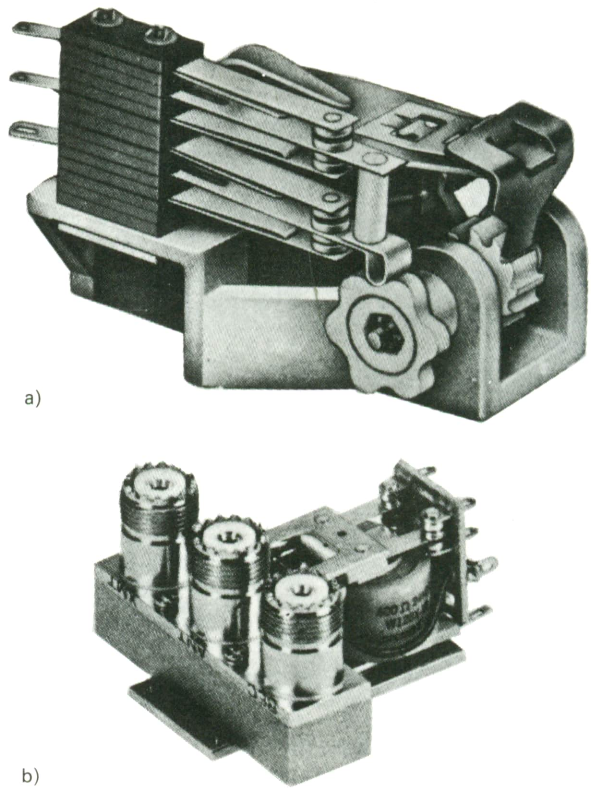


Relé electromecánico miniatura enchufable, muy usual en los circuitos electrónicos que requieren manejar potencia con aislamiento galvánico de una forma sencilla.

características nos fijaremos más en sus contactos (material, superficie, presión, en vacío, en atmósferas inertes, etc.) y por su vida en servicio (miles o millones de operaciones). Por su futuro uso se distribuirán en comerciales, industriales, militares de comunicaciones y para ferrocarriles. Si los dividimos por lo que pueden hacer: aplicaciones generales, especiales o muy definidas.

Pero, en resumen, para el electrónico hay dos clases muy definidas de relés: los convencionales en electrónica

(bobina de continua y contactos para mediana potencia) y los relés *reed.* Estos últimos tienen los contactos encerrados en una ampolla de vidrio en la cual no hay aire, es decir, se les ha hecho el vacío o se les ha inyectado una atmósfera inerte. Los contactos están magnetizados y son ellos mismos



a)

b)

a) Relé secuencial, que a cada impulso recibido en su bobina avanza una posición el trinquete, cerrando o abriendo los contactos;
b) Relé coaxial; es un relé especializado para conmutar cargas de radiofrecuencia.

los que se mueven al aplicarles un campo magnético mediante una bobina o un imán próximo. Otras veces es importante también reseñar el número de conmutaciones necesarias, en este caso los que tienen más son los telefónicos.

FUNCIONAMIENTO

Desde el punto de vista del principio físico de funcionamiento, determinante de la fuerza o el par que accionan, los contactos se clasifican en: *ferromagnéticos* o de hierro móvil), *magneto-eléctricos, electrodinámicos* (ferrodinámicos), *de inducción, térmicos* y *mecánicos* (finales de carrera, microrruptores... no los vamos a considerar por estar apartados del enfoque general de la obra).

Relé ferromagnético o electromagnético

Este relé está basado en la atracción que sobre un pedazo de hierro dulce ejerce un electroimán o en la atracción

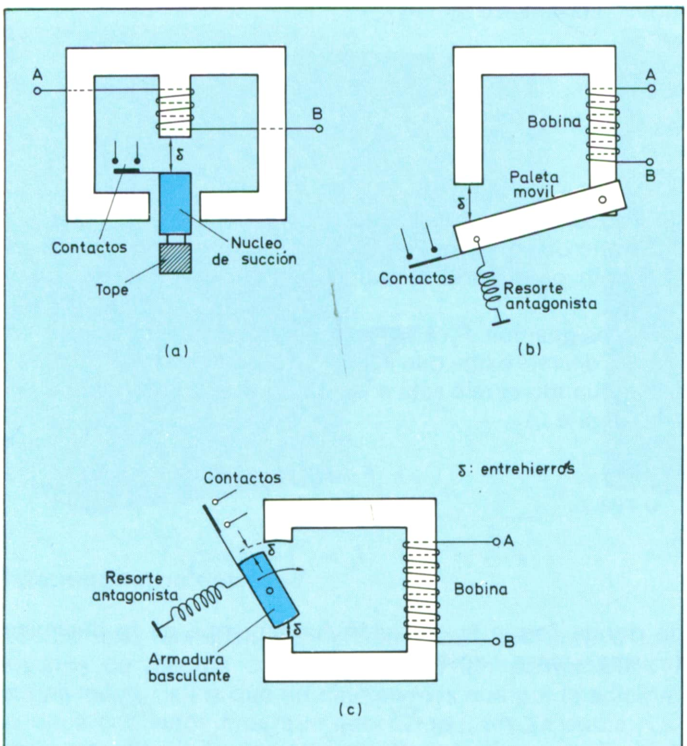


Figura 5. Distintos relés ferromagnéticos;
a) con núcleo de succión;
b) de paleta móvil,
c) de armadura basculante.

recíproca de dos piezas de hierro dulce magnetizadas por el campo de una bobina recorrida por la intensidad de mando. Según la figura 5 el hierro móvil puede adoptar formas distintas dando lugar a tres tipos de circuito magnético: de núcleo de succión, de paleta móvil (superficie constante, entrehierro variable) y de armadura basculante (superficie variable, entrehierro constante). Estos relés pueden actuar indistintamente en corriente alterna o en continua, si bien en el primer caso tienen tendencia a la vibración, aunque se puede paliar con las llamadas *espiras de sombra.*

La imantación que se tiene en la pieza móvil por la acción del campo magnético da lugar a una fuerza electromagnética directamente proporcional, por una parte, al cuadrado de la corriente que pasa por la bobina (o el cuadrado de la tensión aplicada en sus bornes), y por otra es inversamente proporcional a la distancia entre los polos de la parte fija y móvil (entrehierro δ):

$$\text{(fuerza) } F = k\,\frac{I^2}{\delta} \text{ (Newtons)}$$

(k constante de proporcionalidad).

Para que, al cesar la corriente o reducirse ésta a los valores prefijados, la armadura vuelva a su posición inicial, es necesario disponer de una fuerza antagonista que puede ser el propio peso de la armadura, o mejor la tensión de un resorte.

Si designamos F_a a la fuerza antagonista la puesta en trabajo del relé exige que $F > F_a$. En el punto de equilibrio, es decir, cuando el relé está a punto de operar (corriente en el relé igual a I_t):

$$F = F_a$$

o sea

$$k\,\frac{I_t^2}{\delta} = F_a \qquad I_t = \sqrt{\frac{F_a}{k}\,\delta} = c\sqrt{\delta}$$

de donde según la ecuación fundamental de la dinámica (Fuerza = masa × aceleración):

$$(F - F_a) = M\,\frac{dv}{dt} \quad \text{o} \quad (T_M - T_a) = J\,\frac{d\omega}{dt}$$

(momento o par de fuerzas) = momento de inercia × aceleración angular)

(dv/dt) = derivada de la velocidad respecto al tiempo = aceleración)

M: masa de la parte móvil

T_M: momento o par motor (accionador)

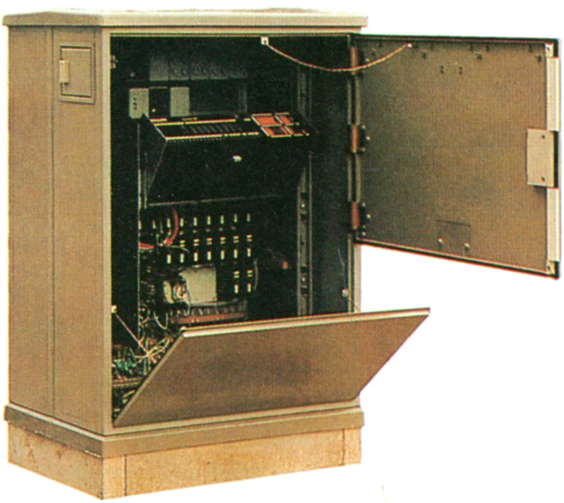
T_a: momento o par antagonista

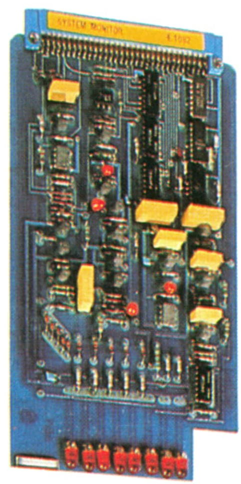
J: momento de inercia

ω: velocidad angular; $\frac{d\omega}{dt}$: aceleración angular

Las ventajas del principio del funcionamiento electromagnético justifican la adopción del mismo para la construcción de relés intermediarios de *todo o nada* y así mismo para relés de alterna.

Un microprocesador controla equipos de circulación, de modo que puede actuar como temporizador variable en función del tráfico, controlando la duración de las luces de los semáforos. Los dispositivos de accionamiento que abren o cierran los diferentes circuitos van controlados con relés o contactores, en función de la potencia a controlar.





Relé magnetoeléctrico

Estos relés corresponden en su funcionamiento a los aparatos de medida del sistema de imán permanente y bobina móvil, de los que no difieren más que por la adición de unos contactos fijos que hacen tope con la aguja. La aguja, por medio de una espiral que constituye un órgano

antagonista y los topes, se conecta al exterior. El desplazamiento de los topes por mediación de un tornillo permite la regulación del relé. Al igual que los aparatos de medida del sistema de bobina móvil, los relés magnetoeléctricos sólo funcionan con corriente continua o rectificada (pulsante). Su par disminuye a medida que el equipo móvil se desplaza hacia la posición de equilibrio (al contrario de lo que ocurre en los relés ferromagnéticos). Ello hace que la presión de contacto sea muy débil en la posición de trabajo. Veamos cual es el par de estos relés. Sea Φ_p el flujo creado por el imán permanente fijo y Φ_e el que produce la bobina excitada por la corriente continua *i* que pasa por ella (figura 7). Cuando los ejes de la bobina y de los polos forman un ángulo cualquiera α, el par viene dado por:

$$T_\alpha = K_1 \Phi_p \Phi_e \text{ sen } \alpha$$

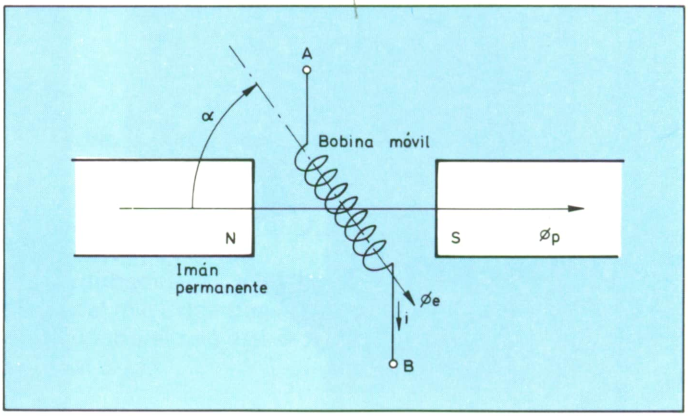


Figura 7. Relé magnetoeléctrico. La bobina móvil se desplaza dentro del campo magnético de un imán permanente.

El par máximo se tendrá cuando:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} ; \; T_\alpha = K_1 \Phi_p \Phi_e = K_2 \Phi_e$$

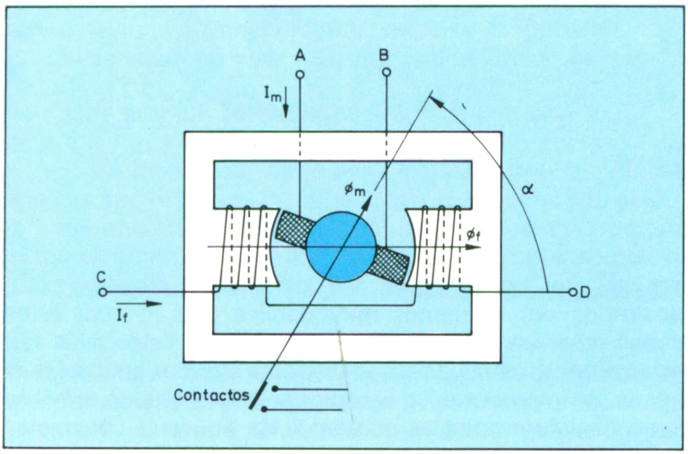
siendo K_1 K_2 constantes que dependen de la construcción del aparato.

Para que el relé tenga una eficacia máxima se construye de

forma que la bobina se mueva siempre dentro de la zona de perpendicularidad de los ejes ($\alpha \simeq \pi/2$). Ello conduce a limitar la carrera del contacto móvil y a disponer el contacto de trabajo lo más próximo posible a la perpendicular. En estas condiciones se tiene sensiblemente, al ser Φ_e proporcional a la intensidad i:

$$T = K_1 \cdot i$$

Es decir, que en los relés magnetoeléctricos el par es proporcional a la intensidad en tanto que en los ferromagnéticos lo es al cuadrado de la intensidad. Estos relés se caracterizan por su robustez y débil consumo.



Relé ferrodinámico. Al desplazarse el fragmento de hierro dulce en uno y otro sentido, se cierran o abren los contactos.

Relé ferrodinámico

El funcionamiento de estos relés está basado en la acción de una bobina fija sobre una móvil, al igual que en los aparatos de medida de tipo electrodinámico, pero como lo más frecuente es que contengan también un circuito magnético de hierro son llamados por este motivo ferrodinámicos.

Este tipo, de relé podemos asimilarlo a uno del tipo magnetoeléctrico, en el que el campo del imán permanente

viene a ser reemplazado por un electroimán de corriente continua. Por analogía con el relé anterior el par en corriente continua vendrá dado por:

$$T_\alpha = K_1 \Phi_f \Phi_m \text{ sen } \alpha$$

siendo Φ_f y Φ_m los flujos excitados por las bobinas fija y móvil respectivamente. Si las corrientes que recorren las bobinas son alternas, los flujos lo serán también, y si Φ_f y Φ_m son los valores máximos de estos flujos y γ su diferencia de fase temporal, el par medio valdrá:

$$T_\alpha = K_1 \Phi_f \Phi_m \text{ sen } \alpha \cos \gamma$$

Si los ejes de las bobinas se disponen casi perpendiculares, limitando el giro de la bobina móvil a unos pocos grados, se podrá aceptar sen $\alpha = 1$ y en consecuencia:

$$T_\alpha = K\, I_f\, I_m \cos \gamma \quad (I_f \text{ y } I_m \text{ implican los flujos } \Phi_f \text{ y } \Phi_m)$$

siendo γ el desfasado eléctrico entre las corrientes I_f e I_m.

Los devanados de intensidad (fijos) son en general susceptibles de ser recorridos por corrientes importantes, por lo que para lograr la excitación del flujo bastan unas pocas espiras. Por el contrario, los devanados móviles están recorridos por corrientes muy débiles, por lo cual éstos deben tener un elevado número de espiras. Estos relés son insensibles a la frecuencia, lo que para algunas aplicaciones puede ser interesante. La amortiguación del equipo móvil se logra fácilmente por las corrientes de Foucault (corrientes inducidas en el núcleo al estar sometido cada punto de éste a un campo magnético variable) que un pequeño imán permanente induce en una paleta magnética solidaria al equipo móvil.

Relés de inducción

El par motor en el relé de inducción está determinado por la acción de dos flujos alternos desfasados en el tiempo, de ejes paralelos, sobre las corrientes que ellos inducen en un disco metálico (de aluminio) perpendicular a las líneas de fuerza (figura 9). Supongamos que los dos electroimanes están alimentados por las corrientes alternas I_1 e I_2

desfasadas un cierto ángulo γ. Los flujos Φ_1 y Φ_2 excitados por estas corrientes atravesarán el disco y estarán desfasados también el mismo ángulo.

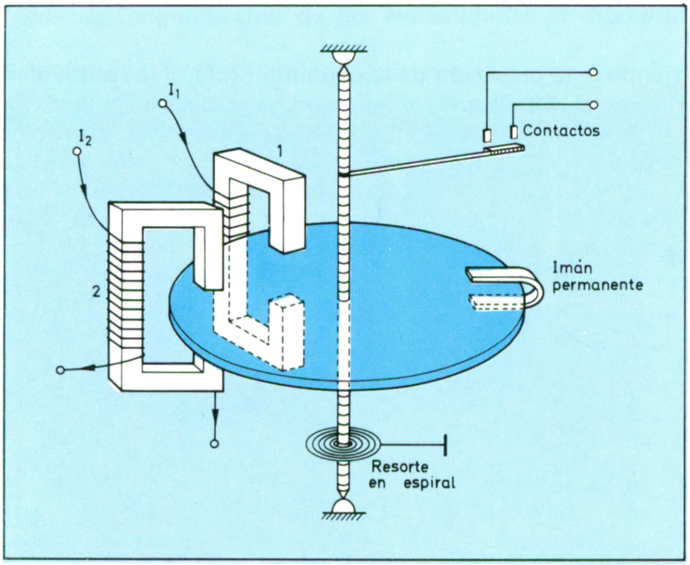


Figura 9. Relé de inducción. El desplazamiento de un disco metálico, por acción de la corriente que pasa por las bobinas inductoras, es capaz de cerrar los contactos del circuito a gobernar.

Estos flujos alternativos inducen en el disco fuerzas electromotrices desfasadas temporalmente 90°, las cuales originarán corrientes defasadas. Los flujos Φ_1 y Φ_2 se pueden asimilar a los dos flujos de un relé ferrodinámico en el que la bobina será la del electroimán. Estos determinan un par de giro sobre el disco:

$$T = K\, I_1\, I_2 \operatorname{sen} \theta$$

siendo el ángulo θ el formado entre la intensidad I_2 y la fuerza electromotriz debida a la intensidad I_1 (esta deducción conlleva una complicación que sale de este contexto y por ello se omite). Los relés de inducción sólo pueden funcionar con corrientes alternas y siempre que los flujos Φ_1 y Φ_2 presenten entre sí un desfase. El par motor, en realidad, depende de la frecuencia de la intensidad que circula por los

devanados y de la resistividad del material que forma el disco. Así, la constante K de la fórmula puede considerarse igual a:

$$K = C\,\frac{\omega}{\rho}$$

siendo ω la pulsación de la corriente ($2\pi f$), ρ la resistividad del metal del disco y C el coeficiente dependiente de la constitución y dimensiones del relé. Para obtener un cierre o apertura de los contactos más rápido se recurre a la colocación de un imán abrazando el disco, de forma que origine un par opuesto al par motor del sistema inductivo, sensiblemente constante.

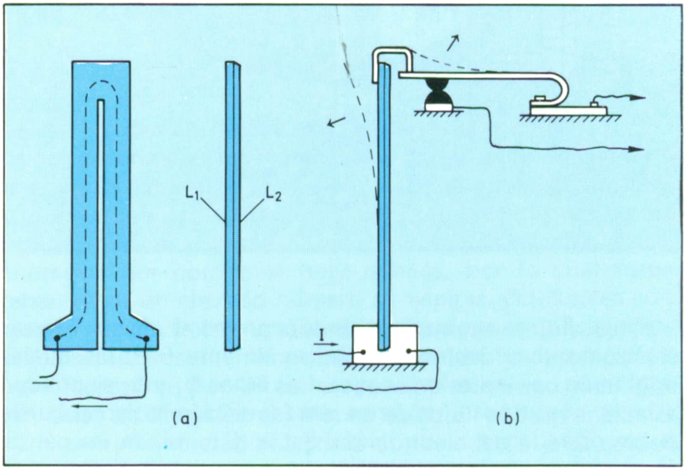


Figura 10. Diagrama del principio de funcionamiento de un relé térmico. La dilatación de una lámina bimetálica, es capaz de abrir o cerrar el circuito sobre el que se actúa.

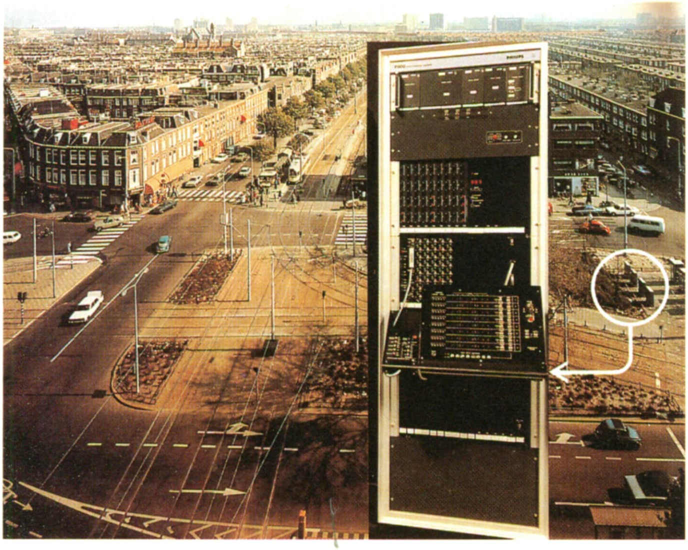
Relés térmicos

Se dividen en los propiamente *térmicos* y los *magnetotérmicos.*

a) Relés térmicos

Utilizan como órgano motor el fenómeno físico de la

dilatación de los cuerpos bajo la acción del calor. Un tipo muy generalizados basado en este principio es el de bilámina. Una bilámina (figura 10) es una lámina metálica formada por dos hojas metálicas L_1 y L_2 de distinto coeficiente de dilatación (por ejemplo, cobre-zinc) soldadas entre sí en toda su longitud. Una de las extremidades se fija a un



Equipos controladores de la circulación, basados en un microcomputador, instalados en la ciudad de La Hague (Holanda). El círculo señala la ubicación de los equipos que están situados en un lugar accesible. En estos sistemas, los relés electromecánicos, han sido sustituidos por relés estáticos (electrónicos).

soporte rígido y la otra se deja libre, curvándose más o menos según la temperatura que tiene, hasta conseguir accionar un contacto o un simple mecanismo de enclavamiento cuando la temperatura alcanza un determinado valor. El calentamiento puede ser directo cuando es debido al efecto Joule de la corriente eléctrica que se hace pasar por la bilámina e indirecto cuando el calor procede de una resistencia adosada a la bilámina pero aislada de ésta. Para que un relé térmico proteja a una máquina o instalación debe ser recorrido por la misma corriente que circula por ésta, o por una fracción constante de ella, y calentarse con la misma constante de tiempo para que sus temperaturas en cada instante sean las mismas. El relé térmico tiene mucha aceptación como relé de protección contra sobrecargas.

b) Relés magnetotérmicos

La circunstancia de que los relés térmicos tengan un retardo los descalifica como relés de protección contra fuertes sobrecargas transistorias, cuya protección debe ser instantánea. Para alcanzar esta protección se unen en un mismo relé el principio térmico diferido y el ferromagnético instantáneo, dando origen al relé conocido comercialmente como magnetotérmico. La figura 12 muestra una realización esquemática de este tipo de relé. La bobina *M* del relé

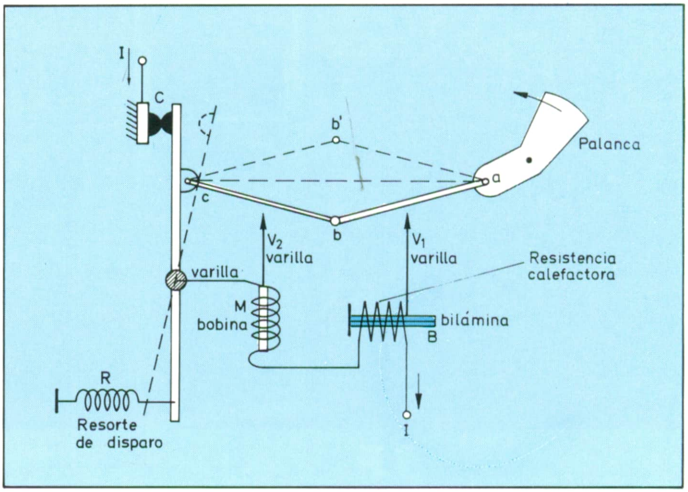


Figura 12. Diagrama esquemático de un relé magnetotérmico. Aquí se aprovecha la dilatación del metal para accionar los contactos. Este relé puede gobernarse manualmente.

magnético y la resistencia calefactora de la bilámina *B* son recorridas por la misma corriente cuando el relé está armado (contacto *C* en posición de cierre). El mecanismo de disparo del interruptor es del tipo de rodillera, y mientras el punto *b* de la misma esté por bajo de la recta que define la articulación *a* y *c*, el interruptor, pese a la acción del resorte de disparo *R*, se mantiene cerrado. La apertura brusca del interruptor se puede obtener ya sea a mano, actuando sobre la palanca en el sentido de la flecha o automáticamente por el desplazamiento vertical de las varillas V_1 o V_2. La varilla V_1 es accionada por la bilámina, por tanto con un cierto retardo función de la sobrecarga y V_2 por el relé magnético

prácticamente sin demora al exceder el valor de la corriente de disparo de cuatro a cinco veces, por lo general, la corriente nominal del elemento protegido. El principal campo de aplicación de estos relés es la protección de viviendas y en general instalaciones eléctricas.

Por último, hay otros tipos de relés cuyo funcionamiento también conviene explicar aunque se separan algo de la clasificación del principio de este apartado, son los relés *diferenciales* y los relés *reed*.

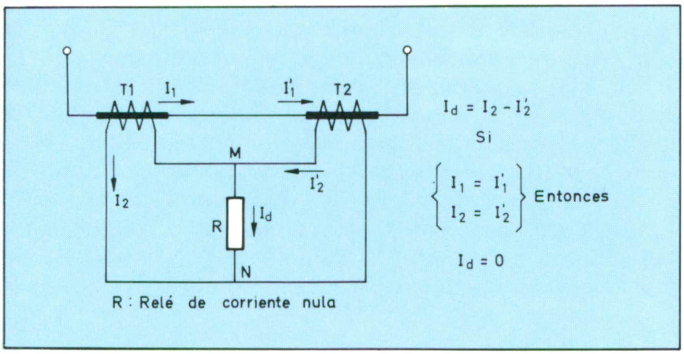


Figura 13. Diagrama de un relé diferencial. Este relé actúa según la diferencia de corrientes que atraviesan las bobinas T_1 y T_2.

Relés diferenciales

Son relés de protección basados en el defecto sobre la medida de la diferencia vectorial de dos corrientes. Estos relés operan cuando la diferencia entre dos corrientes o entre dos o más magnitudes vectoriales similares, alcanza un determinado valor, por lo que son denominados relés diferenciales. La figura 13 muestra un diagrama usual del principio de este tipo de relé, llamado relé diferencial longitudinal. En tanto el elemento protegido no presenta defecto alguno y funciona normalmente, la corriente primaria en los transformadores de intensidad T_1 y T_2, que son iguales, es la misma y las corrientes secundarias serán prácticamente iguales también (salvo ligerísimas diferencias dependientes de los errores de relación y de ángulo de los transformadores indicados) por lo que estando los secundarios conectados en serie, la corriente derivada entre los puntos *M* y *N*, a los que va conectada la bobina de un relé,

será nula. Pero si se presenta un defecto en el elemento comprendido entre los dos transformadores de intensidad, dejará de verificarse la igualdad de corrientes secundarias y el relé será recorrido por la corriente diferencial $I_d = I_2 - I'_2$ que determina su intervención. El relé utilizado como detector de corriente nula puede ser ferrodinámico, de inducción o ferromagnético, con la condición de que tenga gran sensibilidad y selectividad.

Relés reed

La técnica de la ruptura en el vacío (10^{-6} a 10^{-7} mm de mercurio) o en atmósferas inertes se empezó a investigar en los años 20. La rigidez dieléctrica alcanzada con este método es superior a 100 kV/cm. Esta excepcional rigidez junto al hecho de que el arco voltaico en el vacío tiene una tensión muy baja (los electrones desprendidos por el cátodo no encuentran obstáculo alguno en su camino hacia el ánodo) y que la regeneración dieléctrica del medio, al anularse la corriente, es prácticamente instantánea (no hay moléculas ionizadas de gas entre los electrodos) motivaron el inicio de las investigaciones.

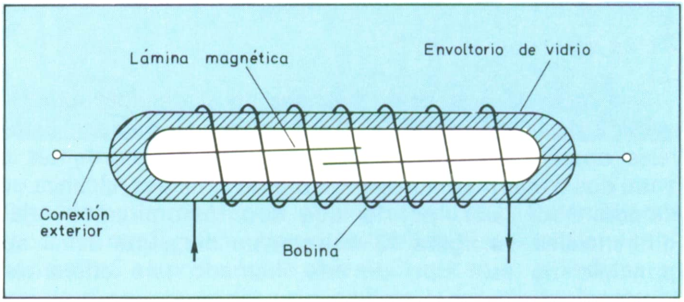
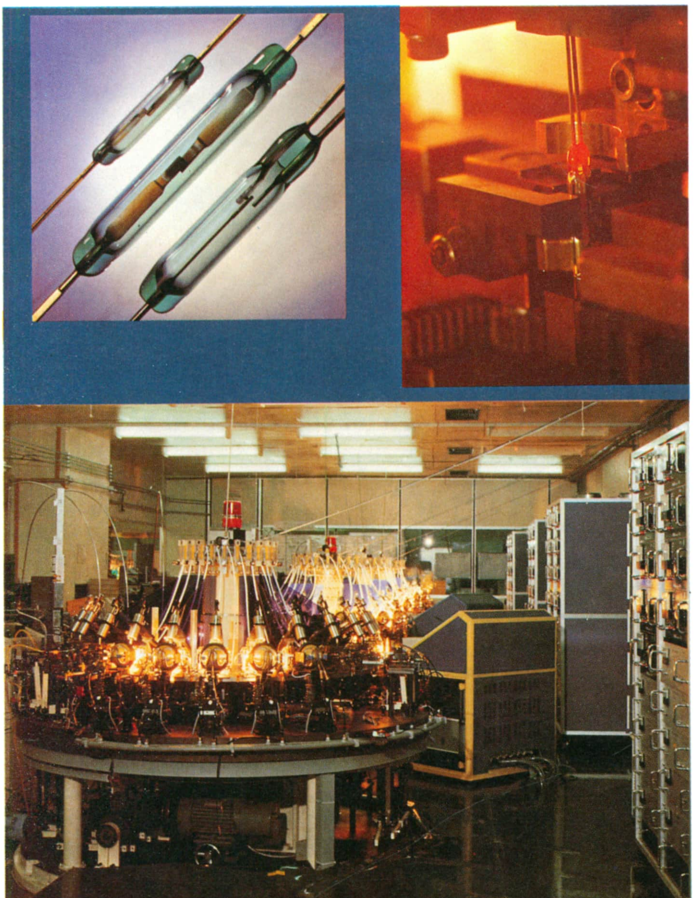


Diagrama de un relé «reed». Los contactos externos se cierran gracias a que la bobina externa proporciona un campo magnético suficiente para mantener el contacto entre los terminales.

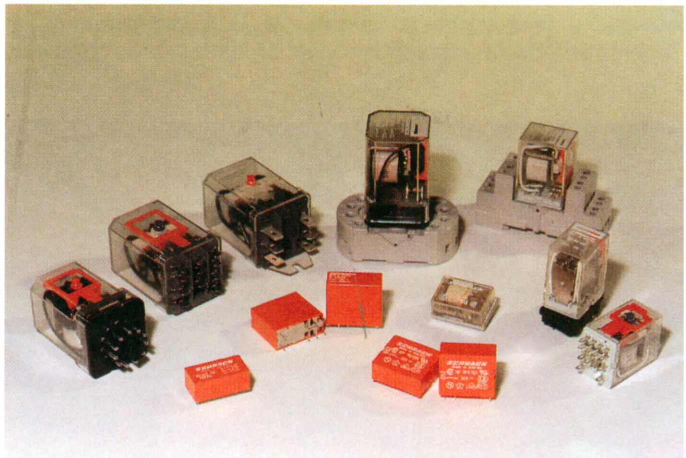
Por el contrario, un gas (aire en la mayoría de los casos) a la temperatura normal es aislante y solamente alcanza a ser conductor cuando se ioniza, es decir, cuando por determinados medios se forman en su seno electrones e iones libres, o sea, los dos tipos de portadores de la electricidad. Por ello los gases tienen rigideces dieléctricas inferiores al vacío

(aire: 30 kV/cm). En la ruptura inmersa en un gas se da una emisión termoiónica, debida a la energía de los electrones libres, distribuida alrededor de los contactos. Esta emisión es debida a la acción de fuertes campos eléctricos. A tenor de esto, los fenómenos de descarga en un gas presentarán una evolución diferente según la temperatura, los electrodos o contactos y la intensidad del campo eléctrico: efluvios, chispas y arco voltaico. Efluvios si la luminosidad y los fenómenos de ionización quedan limitados a la zona que



Relés «reed» y detalles de su fabricación. Estos relés son delicados y pueden construirse de tamaños diversos, incluso pueden funcionar como inversores o controlar más circuitos si se aumenta el número de terminales en cada ampolla.

rodea a uno de los contactos. Tendremos chispas cuando la luminosidad y los fenómenos de ionización se extienden a todo el espacio entre los contactos. Y por último, se da el arco voltaico cuando una parte de los contactos llega a la incandescencia.



Muestrario de diferentes tipos de relés. Contiene relés industriales con zócalo, para el gobierno de corrientes importantes, relés más pequeños para incorporarlos a circuitos impresos y relés «reed». (Cortesía: Elion).

Como resultado de esta introducción se ve que los relés *reed* tienen la ventaja de que estos fenómenos quedan muy reducidos y prácticamente desaparecen.

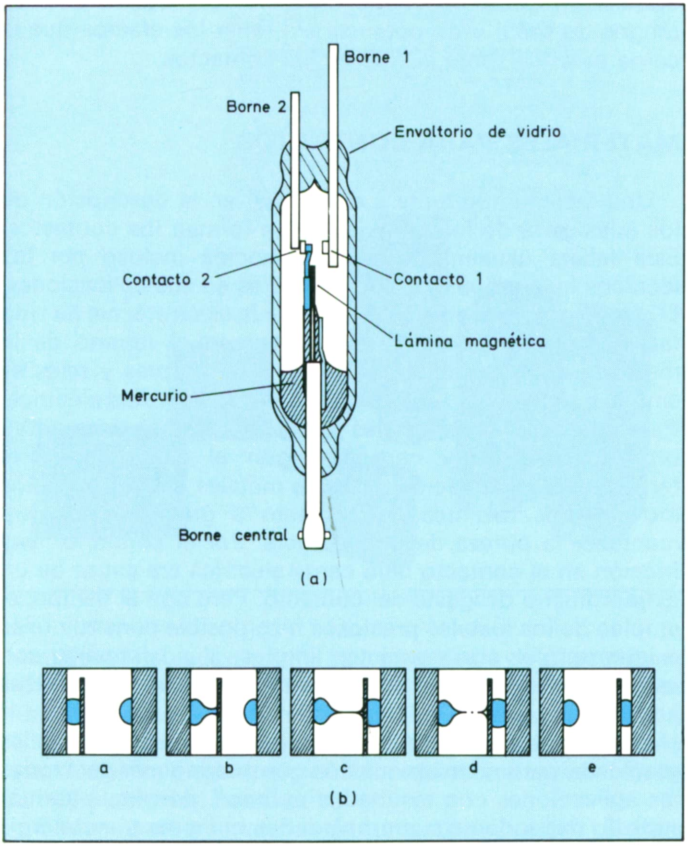
Básicamente, un relé *reed* está compuesto sólo por tres partes: un envoltorio de vidrio, los contactos en forma de *cañas* (de ahí le viene el nombre *reed* en ingles) y la bobina.

Los contactos son planos y hechos de un material magnético flexible. Los cierres en los extremos del envoltorio de vidrio sujetan los contactos en forma de láminas, de forma que sus extremos libres se sobreponen quedando separadas por un pequeño espacio.

Si este encapsulado se incluye en una bobina o se acerca a un imán se podrá tener un flujo magnético entre las dos láminas. Este flujo proporcionará una fuerza magnética de atracción que actuará sobre las láminas y las juntas entre sí.

De cara a las aplicaciones electrónicas sus ventajas son: pequeño tamaño, alta rapidez de actuación, proporcionan

muy buen aislamiento entre la entrada y la salida, pueden utilizarse ventajosamente en circuitería de estado sólido, se montan fácilmente sobre cartas de circuitos impresos y requieren pequeñas cantidades de energía de accionamiento; pero su principal inconveniente es la tendencia al soldado de los contactos cuando su dimensionado se ha calculado sin las debidas precauciones.



a) Diagrama de un relé de contactos, a base de mercurio;
b) Secuencia del cambio en la conexión de los bornes, pudiéndose observar el efecto del mercurio.

Un relé reed más sofisticado consiste en una ampolla de vidrio que, además de incorporar las láminas, se rellena de mercurio. El contacto eléctrico es de mercurio con mercurio,

con las superficies de contacto renovándose por capilaridad con una película del mismo material. La película de mercurio se alimenta de un depósito situado en la base de la cápsula entre los miembros estacionarios para proporcionar el contacto. El rebote y la vibración están eliminados por el efecto de amortiguación de la película.

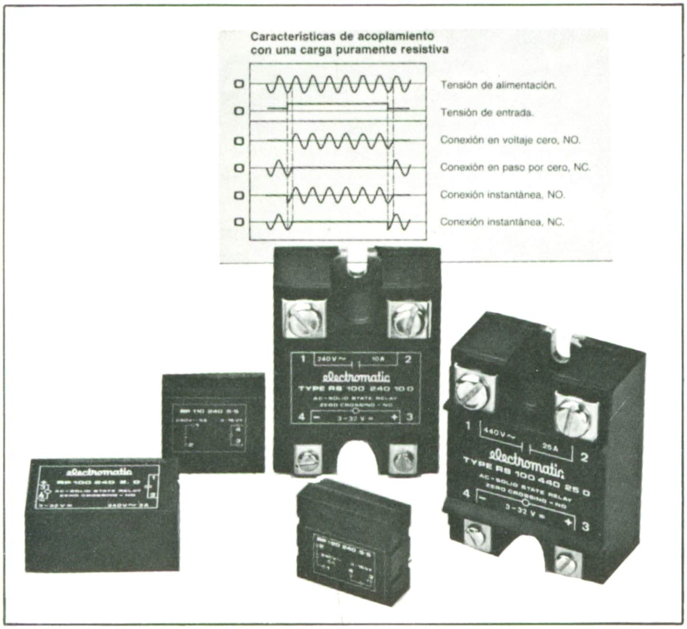
No se efectúa contacto entre los metales sólidos, de forma que los contactos están realmente renovados en cada operación. Como resultado pueden conmutarse amplios rangos de señal y de potencia sin tener los efectos que la carga provoca sobre la vida de los contactos.

MATERIALES PARA CONTACTOS

Una faceta importante a considerar en la descripción de los relés es la de los materiales que forman los contactos. Esta faceta usualmente es desconocida incluso por los técnicos más propensos a utilizar relés en sus aplicaciones. El rápido progreso en el desarrollo de la electrotécnia ha sido facilitado por nuevos conocimientos en el terreno de la metalurgia. En la construcción de interruptores y relés se empleaba cobre por razón de su alta conductividad eléctrica. Para aplicaciones especiales se usaba, además, sólo latón, bronce fosforoso y carbón, según el caso. La fuerte tendencia a la oxidación de estos metales hacía necesarios movimientos rozantes de contacto a gran presión para mantener la pureza de la superficie. Por el contrario, esta fricción en el contacto bajo carga eléctrica era causa de un extraordinario desgaste del contacto. Pero con el tiempo, el empleo de los metales preciosos hizo posible construir relés e interruptores con contactos limpios, al no formarse con estos metales películas de impurezas en la superficie de los contactos.

El contacto ideal no se halla tampoco en los metales preciosos, pero no existe materia que pueda servir para todas las aplicaciones con resultados óptimos, porque la aptitud no sólo depende de sus propiedades químicas y metalúrgicas sino también de las circunstancias eléctricas, mecánicas y térmicas en las que ha de trabajar. Así, por ejemplo, la plata fina, por su excelente conductibilidad eléctrica y debido a la poca afinidad con el oxígeno se presta a múltiples aplicaciones como el material idóneo, pero su empleo está limitado

por su fuerte tendencia a soldarse, poca resistencia a empañarse con azufre y su marcada tendencia migratoria cuando trabaja con corriente continua. Además, las propiedades que se exigen del material de contacto con frecuencia son tan diferentes que, para tener una de estas características, a veces hay que prescindir de otra que pudiera ser



Relés de potencia totalmente electrónicos (estáticos), en los cuales no hay partes móviles ni contactos. Estos están constituidos por elementos semiconductores, como triacs o tiristores.

ventajosa. Así, por ejemplo, una resistencia de paso mínimo sólo se consigue con superficies metálicas muy limpias, libres de toda sustancia extraña. En cambio, cuanto más limpia la superficie tanto mayor su tendencia a soldarse. Así pues la selección del material de contacto consistirá en hallar la mejor solución intermedia.

Básicamente las materias de contacto se pueden clasificar en tres grupos principales:

1) Materias de contacto con elevada conductibilidad eléctrica.

2) Materias de contacto con buena resistencia al empañamiento.

3) Metales sinterizados como materias de contacto con gran resistencia a la combustión.

Al establecer esta clasificación por sus principales propiedades de contacto, es inevitable que dentro de estos grupos haya coincidencias en razón de otras propiedades distintas que puedan ser de interés.

1) Materias con elevada conductibilidad eléctrica

Los contactos tienen un triple cometido: cerrar el circuito eléctrico, una vez cerrado efectuar la conducción de la corriente y desconectar la corriente. En estos puntos móviles de empalme existe siempre una resistencia de paso, por tanto debe contarse con un calentamiento en los contactos al paso de la corriente. Para evitar un fallo prematuro del interruptor, es preciso que los contactos sean elaborados con materias que ofrezcan la menor resistencia a la corriente y a la vez tengan una buena conductibilidad térmica. Con el fin de evitar una resistencia adicional de paso las materias empleadas deben ser, en lo posible, resistentes al empañamiento y no ser propensas a la chispa o al arco voltáico. Los principales materiales de este grupo son: la plata fina, la plata dura, aleaciones de plata con ingredientes de hasta el 20 % más o menos de oro, platino o paladio, plata-cadmio y plata-óxido de cadio y, por último, plata-grafito.

2) Materias no empañables

Cuando se empezó a usar la técnica de corrientes débiles en los puntos de contacto las únicas materias que se consideraron no empañables fueron el platino y sus aleaciones con iridio. Actualmente se dispone de unas cuantas aleaciones de oro, cuyas cualidades de contacto casi son mejores que las anteriores, siendo más económicas. También están acreditadas como buenas materias en este grupo las aleaciones de paladio con plata y cobre y el paladio puro. Se debe prevenir el efecto llamado *polvo marrón* en las aleaciones a base de platino y paladio. Estos metales actúan en presencia de vapores orgánicos como catalizadores, formando por efecto de polimerización polvos oscuros que se precipitan sobre la superficie de contacto como una película sólida y aislante. Por ello es importante

alejar los contactos de vapores orgánicos. O también emplear sólo materias plásticas que no expidan gases, ni siquiera al calentarse. Ni el oro ni la plata manifiestan este efecto catalítico. Los materiales principales de este grupo son: plata-paladio Ag 70/Pd 30, plata-paladio Ag 50/Pd 50, paladio, aleaciones de oro, platino y platino-iridio.



Los sistemas para el control del tráfico, como son los trenes urbanos, requieren identificar cada vehículo, y emplear los dispositivos de control y accionamiento para su adecuado gobierno.

3) Materiales sinterizados con gran resistencia a la combustión

Todas las materias de este grupo son productos de sinterización. La sinterización es un proceso metalúrgico por el que a partir de polvos del material se forman sólidos con la forma dada por un molde a base de compresión y calor, es debida fundamentalmente a un proceso de unión de sólidos (polvos) por la acción de fuerzas atómicas. El grupo de metales sinterizados es capaz de trabajar en condiciones similares a la plata fina y en aun más difíciles, especialmente en aplicaciones de corriente continua, caso de la agrupación plata-níquel; la plata y el tungsteno son útiles cuando se precisa una conductividad superior a la de este último

(minirruptores y relés de muchas maniobras); el tungsteno y el cobre dan mayor robustez al conjunto para los interruptores de aceite que requieren fuertes y pesados contactos; el tungsteno presenta una gran dureza y se emplea en dispositivos de gran número de maniobras y, por último, el molibdeno se emplea cuando se trabaja con alta tensión.

A parte de los metales puros de tungsteno y molibdeno interesan aquellas materias fabricadas mediante el sinterizado de un metal con alta conductibilidad, buena resistencia a la combustión y fuerte dureza. La conductibilidad eléctrica y térmica de estas mezclas es mayor que la de las aleaciones. Tienen mucha importancia las materias resultantes de las mezclas de plata con níquel hasta un 40 % con tungsteno (wolframio), hasta un 90 %, en casos extremos y con óxido de cadmio hasta un 15 %, así como cobre con tungsteno hasta un 85 %. Los principales materiales son: tungsteno, molibdeno, plata-níquel, plata-tungsteno y cobre-tungsteno.

En muchas ocasiones fallan los contactos de corriente continua por motivo del desplazamiento de material. Su causa son las diferencias de temperatura que surgen entre ambos contactos. Aunque en menor cuantía, puede darse también el caso de la migración de material en corriente alterna cuando el sistema de las unidades de contacto sea muy asimétrico. Este fenómeno es evitado o disminuido mediante el empleo de juegos de contacto de dos materias diferentes. En este caso se utiliza mucho la combinación de plata fina con plata-níquel 20. Se debe tener presente que el contacto de mejor conductibilidad debe ser emplazado siempre en el lado de mayor calentamiento donde, por consiguiente, radica la mayor tendencia a alejarse el material.

Los bimetales también se utilizan en la fabricación de contactos siendo estas sus principales ventajas: mayor calor específico, mejor consistencia, mejor elasticidad de ciertos metales comunes, excelentes propiedades de contacto de los metales preciosos. El empleo de bimetales con metales preciosos en combinación con metales comunes permite calibrar la lámina de metal precioso al espesor necesario y limitarla al propio lugar de contacto con un considerable ahorro en el consumo de los costosos metales preciosos. Las principales materias de soporte de los metales

preciosos son: cobre, latón, bronce, alpaca, acero, níquel y monel.

CIRCUITOS DE PROTECCION DE CONTACTOS Y DE GOBIERNO DE LAS BOBINAS

En todas las aplicaciones de los relés deben tenerse en

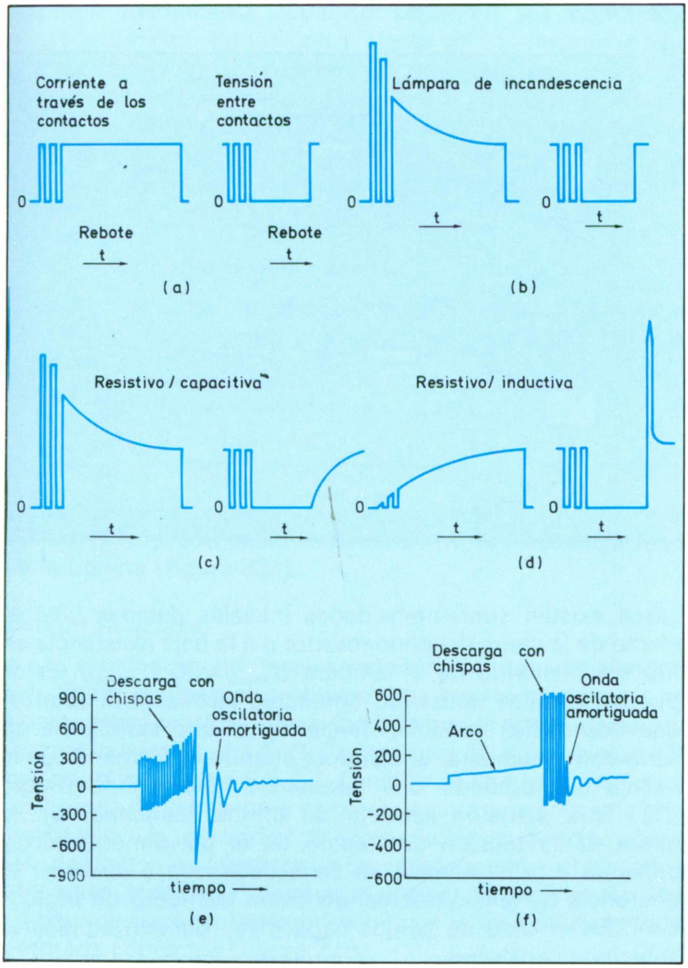


Figura 20. Diversos fenómenos que se pueden dar en el cierre y la apertura de los contactos de un relé, en función del tipo de carga.

cuenta la erosión de los contactos debida a los arcos, la transferencia metálica y las microsoldaduras en lo que concierne al circuito de salida y el modo de gobierno del circuito de entrada del relé (bobina). Centrándonos en la protección de los contactos, la carga que se aplica a éstos puede ser resistiva, inductiva o capacitiva o el caso particular la de una lámpara de incandescencia (figura 20). El fenómeno que aparece en la conexión de cargas capacitivas o lámparas de incandescencia es similar, ya que en ambos

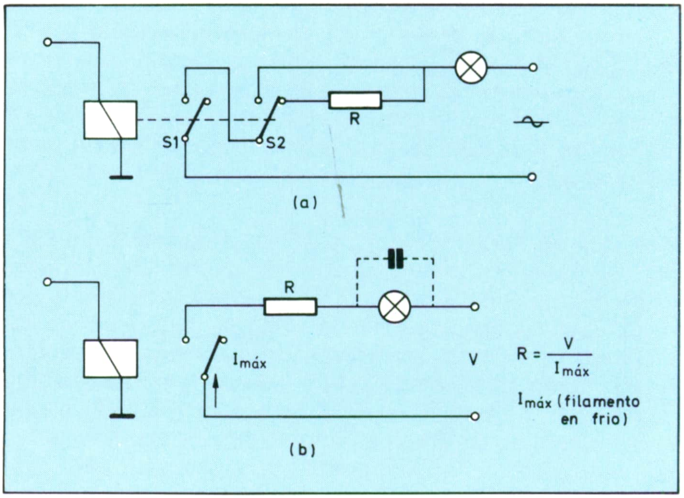


Figura 21. Soluciones para evitar el efecto perjudicial del transitorio de intensidad al conectar en frío una lámpara de incandescencia; a) contactos auxiliares y una resistencia en serie; b) con resistencia en serie fija y lámpara con tensión de trabajo más baja.

casos existen sobreintensidades iniciales debidas bien al efecto de la carga del condensador o a la baja resistencia en frío del filamento de la lámpara ($I_{inicial} = 20\ I_{nominal}$). Estos pueden evitarse utilizando contactos auxiliares temporizados, los cuales conectan inicialmente una resistencia en serie con la lámpara, anulándola cuando el filamento de la misma ha adquirido una resistencia determinada (figura 21). Otra solución sería la de utilizar lámparas con la mitad de la tensión de trabajo de la de alimentación y conectar una resistencia en serie destinada a absorber la diferencia de tensión actuando como elemento de protección. En el caso de cargas capacitivas pueden emplearse soluciones análogas.

La resistencia R de protección vendrá dada por:

$$R = V/I_{máx}$$

siendo V la tensión de alimentación e $I_{máx}$ la intensidad máxima permisible en el contacto.

Cuando la carga es inductiva, en la conexión aparece una curva exponencial de crecimiento de la intensidad con una constante de tiempo L/R hasta que se alcanza el valor de régimen permanente. Cuando se abren los contactos, aparece un pico de tensión a través de los mismos como consecuencia de la disminución de flujo en el circuito inductivo que puede llegar a ser de 5 a 20 veces su tensión normal de trabajo. La protección contra cargas inductivas es más necesaria en los circuitos de corriente continua y a tensiones de alimentación elevadas, tanto en alterna como en continua. Existen varias soluciones a este problema:

Uso de una resistencia en paralelo

Es el método más barato. Cuando se abren los contactos la resistencia proporciona una vía de circulación para la corriente decreciente de la bobina. La tensión de pico está dada por:

$$V_{pico} = V_{alimentación}\left(1 + \frac{R_s}{R_L}\right)$$

donde R_s es la resistencia en paralelo y R_L la resistencia serie de la bobina (figura 22*a*).

Uso de varistores

Las resistencias no lineales sensibles a la tensión pueden solucionar también el problema. Los varistores tienen una característica tensión-intensidad que puede aproximarse a la expresión empírica $I \simeq K \cdot V^n$. Para valores de V superiores a 5 voltios, n varía entre 3,5 y 7. Cuando se usa en paralelo en los bornes de la bobina o carga el varistor presenta una alta resistencia a la intensidad de alimentación, cuando se abren los contactos y aparecen momentáneamente entre ellos tensiones inducidas mucho mayores, la resistencia del varistor decrece bruscamente y reduce la tensión transitoria entre los contactos (figura 22*b*).

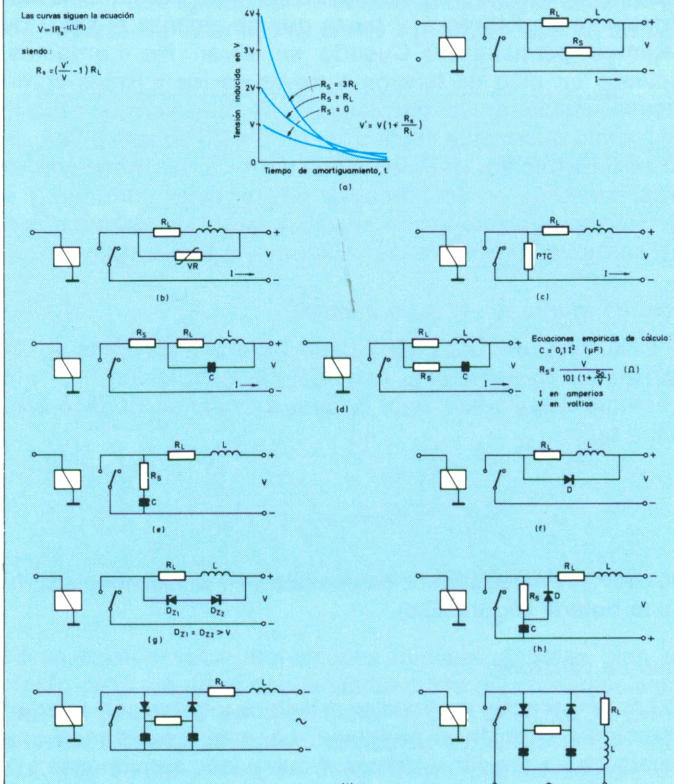


Figura 22. Diversas soluciones para evitar efectos pernisiosos en los contactos, debidos a las cargas inductivas;
a) resistencia en paralelo;
b) varistor en paralelo;
c) uso de una PTC;
d) redes RC;
e) red RC en el contacto;
f) diodo volante;
g) zeners en oposición;
h) red RC y diodo volante;
i) circuito para alterna.

Uso de termistores

Otro tipo de resistencia no lineal es el termistor de coeficiente de temperatura positivo que sufre cambios bruscos de resistencia con cambios relativamente pequeños de temperatura. Cuando se usa en paralelo con los contactos deriva las corrientes transitorias (figura 22*c*).

Combinaciones resistencia-capacidad

Hay varias formas de aplicar combinaciones resistencia-capacidad para la supresión de arcos en los contactos que interrumpen cargas inductivas. La división más importante es la relativa a la colocación de la red supresora en paralelo con la carga o con los contactos. En la figura 22*d* se muestran dos circuitos con la red de protección en paralelo con la carga. En el primero, cuando se cierran los contactos el condensador descargado presenta una impedancia muy baja y se necesita la resistencia para limitar el pico de intensidad que aparecería de otro modo. A medida que se carga el condensador la corriente que circula por él se acerca a cero, mientras que la corriente por la carga inductiva crece desde cero hasta el valor de régimen. Cuando se abren los contactos el condensador se descarga en dirección opuesta a la corriente inducida por el flujo decreciente en la bobina, limitando por tanto la tensión que aparece entre los contactos. Si la caída de tensión en la resistencia serie R_s impidiera el funcionamiento de la carga, puede colocarse en serie con el condensador como en el segundo circuito de la figura 22*d*. Una forma más usada es la mostrada en la figura 22*e*. En esta forma, el condensador proporciona a los transitorios una vía de paso en paralelo con los contactos mientras éstos se abren, hasta que la separación entre las láminas esté bien establecida. A medida que se separan los contactos la caída de tensión entre ellos y en la red RC es bastante baja. Pero como el condensador presenta una impedancia muy baja, la tensión en sus bornes crece rápidamente mientras disminuye la intensidad. Se coloca la resistencia R_s en serie con el condensador para limitar la intensidad de carga y descarga (al cerrar los contactos). El monograma de la figura 23 permite calcular los valores de la red RC.

Uso de diodos semiconductores

Uno de los métodos más efectivos para suprimir los

efectos nocivos de los arcos en los contactos es la colocación de un diodo semiconductor en paralelo con la carga inductiva, de modo que bloquee el paso de corriente de cierre del contacto pero permita a la energía inductiva almacenada en la carga circular a través de su baja resistencia directa en la apertura el contacto. El diodo impedirá la aparición de tensiones transitorias inductivas entre contactos durante la conmutación (figura 22*f*).

Uso de diodos zener

Cuando se usa este diodo en un circuito en el que existen fenómenos transitorios inductivos, el pico de tensión sólo

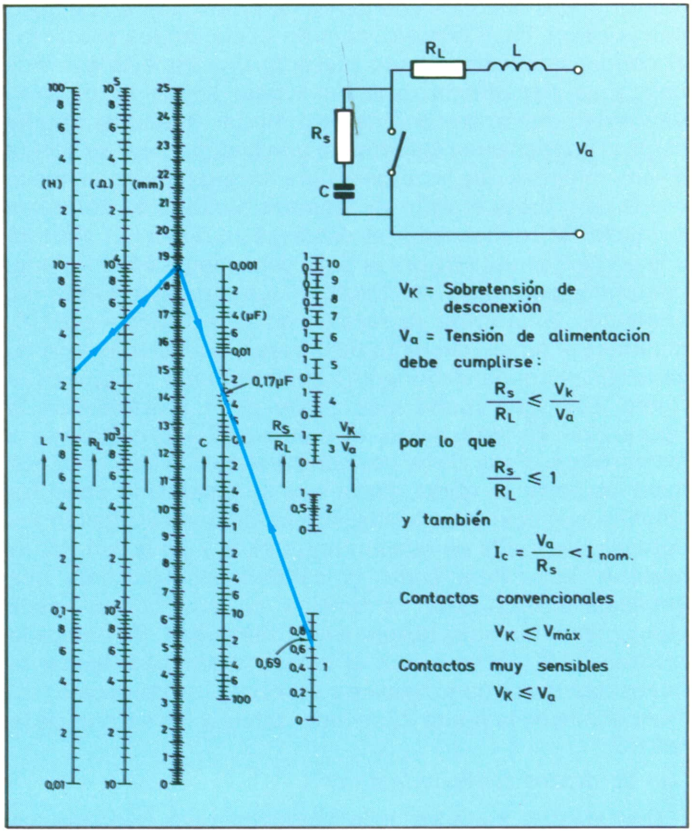


Figura 23. Cálculo de una red R-C para la protección de contactos. Proceso:
1) se situa sobre la escala L el valor de la inductancia.
2) se sitúa sobre la escala R_L el valor de la resistencia del circuito.
3) se unen ambos puntos mediante una recta y se prolonga hasta que corte a la escala auxiliar.
4) En la subescala correspondiente al valor V_k/V_a deseado se marca el valor para R_s/R_L. Se dispone de dos escalas unidas, una corresponde a los valores V_k/V_a y la otra a los de R_s/R_L. La primera dividida en 10 escalas parciales, cada una de las cuales corresponde a un valor entero del cociente, así se dispone de distintos factores de sobretensión, entre 1 y 10. Las subdivisiones dentro de las escalas parciales indican los valores para el cociente R_s/R_L.
5) Se une con una recta el punto hallado en la escala auxiliar con el punto determinado en el apartado anterior.
6) La intersección de la recta con la escala C indica el valor de la capacidad de protección. Ejemplo: $L=2{,}4$ H, $R_L=4800\ \Omega$ $V_a=24$ V, $I_{nominal}=5$ mA para $V_k/V_a=1$, fijamos para $R_s=0{,}69\ R_L$, o sea $R_s=3300\ \Omega$, con la que nos da $C=0{,}17\ \mu F$.

puede crecer hasta la tensión inversa de ruptura o tensión zener del diodo. Más allá de este valor crítico el diodo conduce en avalancha y la intensidad crece rápidamente. Cuando se usan diodos zener en oposición, como en la figura 22*g*, cada uno de ellos debe tener un valor de tensión zener mayor que la tensión máxima de alimentación. Cuando están cerrados los contactos, el zener D_{z2} bloquea la conducción directa del D_{z1}. Cuando se abren, se invierten la tensión y la intensidad en la bobina *L*. El zener D_{z1} pasa a estado conductor y permite el paso de la intensidad a través del circuito de la bobina. La conducción de D_{z1} es debida a la sobretensión generada por la bobina, dando lugar a la conducción indirecta de éste. Esto evita los picos de tensión indeseables.



La microelectrónica resulta fundamental para poder controlar los sistemas industriales. El paso final lo constituyen siempre los dispositivos de accionamiento (por ejemplo relés, electroválvulas, etc.), dispuestos a controlar todas las máquinas y dispositivos gobernados desde el control central. (Cortesía: Foxboro).

Uso de redes RC y semiconductores.

La figura 22*h* muestra un circuito de protección usado en el caso de tener cargas extremadamente inductivas. En

este caso, el condensador se carga a través de la resistencia y da una caída de tensión nula en el contacto en el momento de la apertura. El valor del condensador debe ser tal que, cuando la transferencia de energía de la carga sea completa, la tensión de pico a la que se cargue no de lugar a una ruptura del diodo.

Hasta aquí todos los circuitos mencionados están pensados sobre todo para corriente continua, ya que con ésta existe el mayor problema. En la conmutación de cargas inductivas con corriente alterna estos problemas se solucionan principalmente debido a su paso periódico por cero. Una técnica muy corriente consiste en utilizar en los contactos materiales resistentes a los arcos, sobre todo en los relés en los que los contactos se separan lentamente, y dejar que el arco se extinga por la inversión de la corriente. Si es necesaria una protección en alterna los circuitos de la figura 22*i* pueden aportar la solución. Los circuitos de las figuras 22*a, b, c, d, e, g* también pueden solucionar el problema en el caso de alimentación alterna.

En el gobierno o accionamiento de las bobinas de los relés se incluyen dos aspectos, uno puramente eléctrico, propio de una carga inductiva, y otro mecánico, que a través del magnetismo se refleja en el anterior. La respuesta al accionamiento de una carga inductiva en corriente continua está sujeta al retraso de tiempo determinado por la constante L/R propia del devanado del relé (figura 25). La figura 26 muestra varios circuitos de gobierno de bobinas de relés, pudiéndose observar que se emplean técnicas ya explicadas anteriormente para la protección de contactos, pero aquí como protección del elemento semiconductor de mando, en este caso un transistor.

La energía almacenada en una bobina $W = \frac{1}{2} L I^2$ debe liberarse de alguna forma. Si la autoinducción (bobina) se cortocircuita sobre sí misma se produce un retraso de tiempo y la energía acumulada se consume en calor en la propia resistencia del devanado (R). Esta técnica es la empleada en la figura 26*a* al dejar conducir el transistor. En cambio si se eliminara el diodo volante D la energía almacenada buscaría un camino para liberarse. El único camino existente es la capacidad presente en la propia bobina de forma que se cumpliría: $\frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} C V^2$ siendo este último término la

energía acumulada en la capacidad. De dicha igualdad se obtiene: $V = I\sqrt{\frac{L}{C}}$. Esta expresión nos dice que si la capacidad es pequeña (así ocurre) la extratensión de apertura V puede ser muy elevada y destruir los semiconductores de gobierno. Si no los destruyera, la energía almacenada en la capacidad volvería a la inducción pasando alternativamente de uno a otro elemento, dando lugar a una oscilación amortiguada con los primeros ciclos con frecuen-

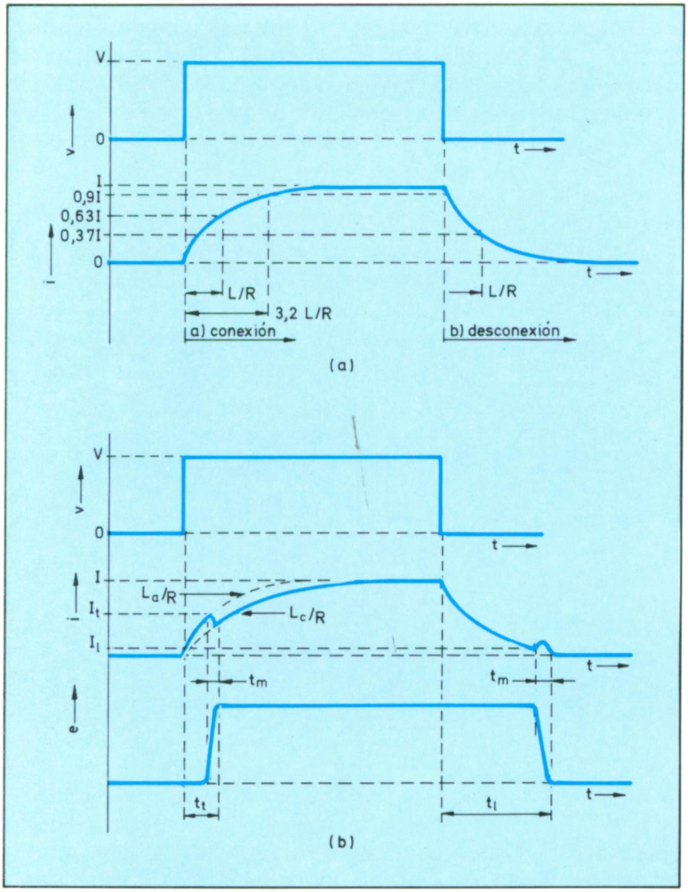


Figura 25. a) Respuesta de la corriente a través de una carga inductiva excitada por un escalón de tensión;
b) Respuesta de la corriente a través de un electroimán cuando es excitado por un escalón de tensión, incluyendo además la respuesta del movimiento.

cia $f=1/2\pi\sqrt{LC}$ consumiéndose la energía en sucesivos ciclos sobre la resistencia del devanado.

Una de las técnicas para aumentar la velocidad de

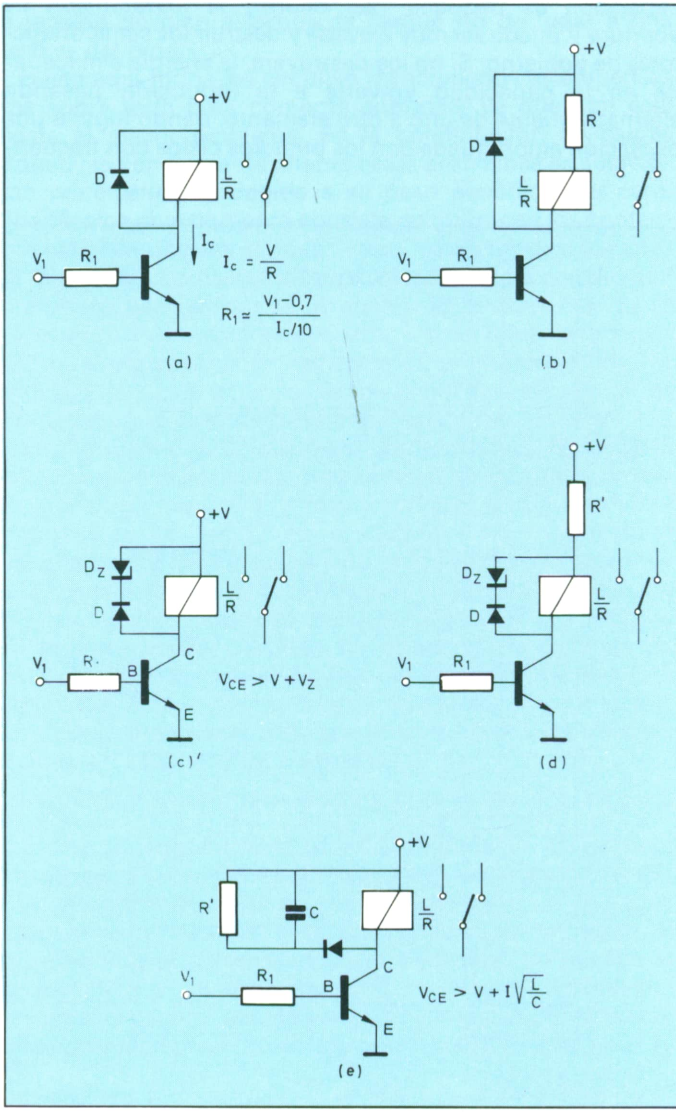


Figura 26. Diversos circuitos de gobierno de bobinas de relé, colocadas como carga en el colector de un transistor montado en emisor común.

respuesta consiste en aumentar la resistencia del circuito (figura 26*b*) con *R'*.

El aumento de la resistencia disminuye la constante de tiempo *L/R*, con lo que el tiempo de conexión y desconexión se reduce. La incorporación de *R'* puede provocar la necesidad de elevar la tensión de alimentación para accionar el relé compensando la caída de tensión en *R'*. En la figura 26*c* la tensión que soportará el elemento de gobierno (transistor) durante la desconexión será igual a la tensión normal de alimentación de la bobina más la tensión del diodo zener. El diodo zener se encargará de disipar parte de la energía de la bobina. El circuito de la figura 26*d* supone una combinación de los efectos de los circuitos *b* y *d* de la misma figura. En la figura 26*e* se transfiere la energía a un condensador con una constante de tiempo inferior. Una vez transferida, éste la descarga sobre la resistencia en paralelo al propio condensador.

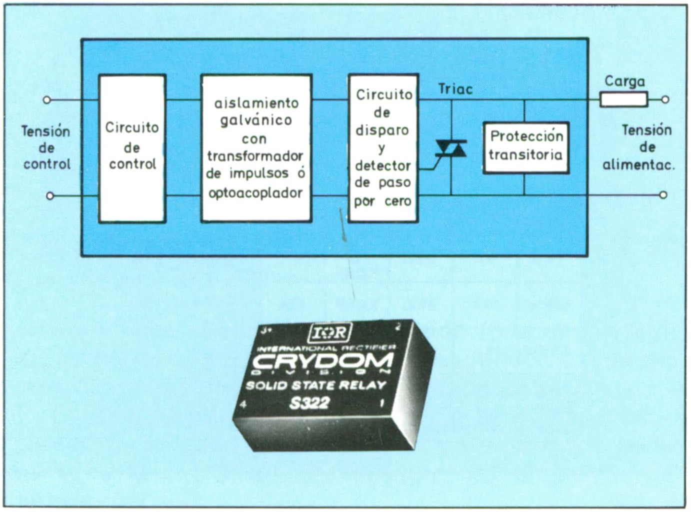
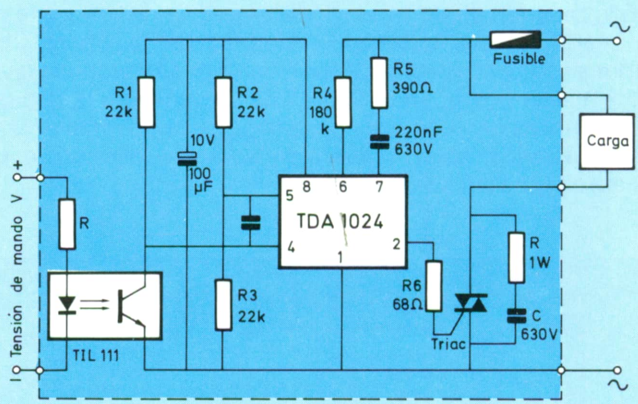


Figura 27. Diagrama de bloques de un relé estático, y forma externa de uno preparado para incorporar a un circuito impreso.

RELES DE ESTADO SOLIDO

El elemento final de un relé estático puede ser un transistor bipolar, MOSFET de potencia, HEXFET, o un tiristor en el caso

de querer controlar sólo corriente continua, pero cuando se quiere controlar corriente alterna, es necesaria la participación de circuitos con tiristores opuestos o, lo más fácil, triacs. Estos elementos son los más usuales. La figura 27 muestra el diagrama de bloques de un relé estático convencional y la fotografía de uno adaptado para circuito impreso. El de estado sólido tiene dos circuitos separados



$$R = \frac{V}{0{,}015}$$

Carga resistiva	I_{Triac}	R	C	Fusible
1 KW	6 A	56Ω	47nF a 100nF	6A
1,6KW	10 A	39Ω	100nF	10A
2,5KW	15 A	27Ω	150nF	15A

(Estos valores no son aplicables para cargas no resistivas)
para fluorescentes R = 10kΩ

Para una tensión de 220V el triac debe ser de 400V o más, y para 125V de 200V o más

Figura 28. Esquema de un relé estático. Los elementos fundamentales que lo forman son, el circuito fotoacoplador (TIL 111), que separa eléctricamente la salida de la entrada, el TDA 1024, y el triac, que controla los períodos en los que circula corriente por la carga.

galvánicamente mediante un acoplador óptico: el circuito de potencia y el de disparo (éste acostumbra a tener un detector de paso por cero). La diferencia básica entre un interruptor electrónico (transistor, tiristor, triac, etc.) y un relé estático es precisamente la separación galvánica. La separación

galvánica suele realizarse con acopladores ópticos o transformadores de impulsos.

La conmutación en equipos de potencia puede realizarse de forma síncrona o asíncrona. La conmutación síncrona es aquella en la que se conecta la carga cuando la tensión (o intensidad en función de la aplicación) alterna de alimentación pasa por cero voltios (o amperios) necesitando el ya mencionado detector de paso por cero. Este método tiene la ventaja de reducir al mínimo las interferencias debidas a la conmutación. Teóricamente los relés con disparo síncrono presentan un problema: la carga no es conectada (o desconectada) inmediatamente, sino que el elemento

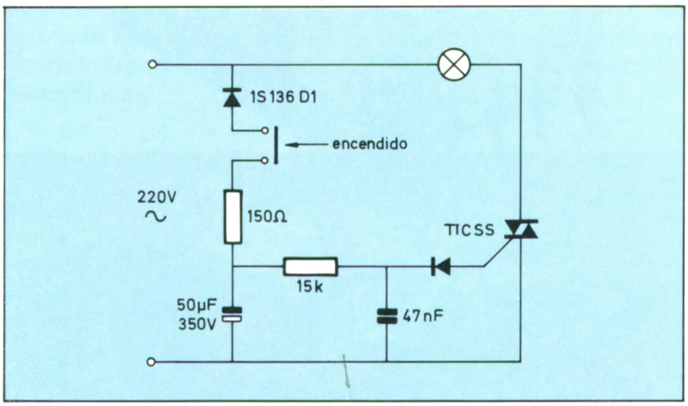
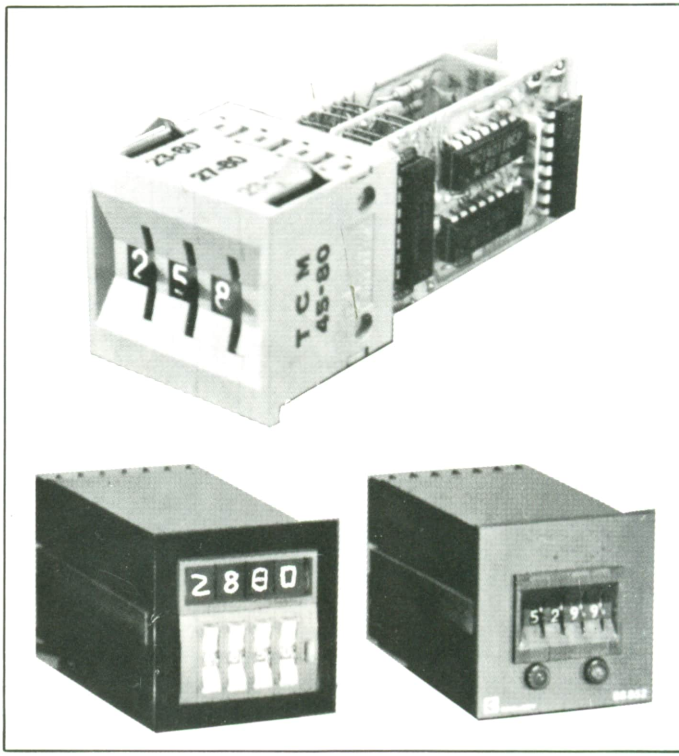


Figura 29. Temporizador con triac para luz de escalera. La carga está controlada por el triac y el diodo, los cuales, junto con la red RC, fijan el ángulo de conducción.

interruptor debe esperar a que la tensión (o la intensidad) pase por cero y esto ocurre cada 10 milisegundos, lo cual no representa un problema grave en la mayoría de los casos. El otro tipo de conmutación, la asíncrona, actúa inmediatamente al dar la orden sin tener en cuenta la situación de la tensión ni la intensidad, provocando más problemas de interferencias.

Los circuitos de protección de los relés estáticos se basan en algunos ya explicados para el caso de los mecánicos. Lo más usual es la utilización de una resistencia y un condensador en serie puestos en paralelo con el triac. La figura 28 muestra un circuito práctico de un relé estático que utiliza el circuito integrado TDA 1024 para el control del disparo y la

detección del paso por cero. Cuando el fototransistor del optoacoplador es iluminado por el diodo LED, el circuito integrado empieza a producir impulsos sincronizados con la señal de red. La amplitud de estos impulsos puede variarse mediante R_4, con el valor 180 kΩ los impulsos serán de unos 150 μseg. Para pequeñas cargas es consejable incrementar



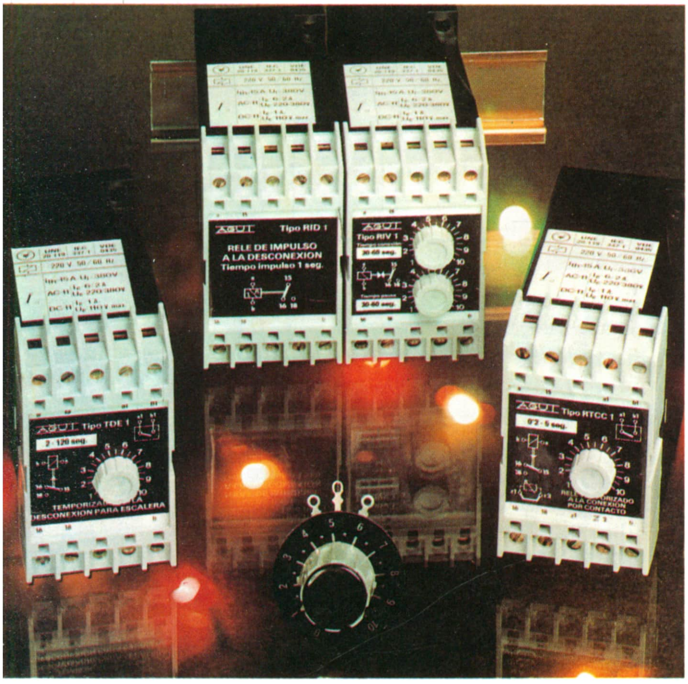
Temporizadores programables de diferentes tipos, para ser ubicados en un panel. Los hay con indicación analógica o digital.

este valor sin pasar de 820 kΩ. La corriente de puerta es de unos 90 mA para una salida de 6 V con la resistencia de 68 Ω. R_5 y C_3 suponen un atenuador para la tensión de alimentación del CI. Para escoger el triac es necesario tener en cuenta la intensidad transitoria de la carga además de la de régimen. Es importante tener en cuenta la limitación que supone la imposibilidad de aplicar un incremento de tensión

en muy poco tiempo a un triac. En la mayoría de los triacs, si se les aplica un incremento de 250 V en 1 μseg se puede provocar su destrucción. Para ello conviene disponer de la red RC en paralelo a fin de atenuar este incremento.

TEMPORIZADORES

En la industria se precisan automatismos que necesitan una serie de señales temporizadas que retrasan la actuación de motores, válvulas, electroimanes, luces, etc. Estos temporizadores son conjuntos individuales que pueden ser electromecánicos o electrónicos. Dentro de los propios circuitos de control, sin que se pueda actuar externamente sobre ellos como en el caso anterior, también es usual contar con una serie de retrasos de señales internas, en este caso todos los retrasos o temporizaciones se realizan con circuitos electrónicos.



Temporizadores comerciales electrónicos, listos para ser incorporados en aplicaciones industriales. Interiormente se aplican las técnicas que se reseñan en este libro. (Cortesía: Agut).

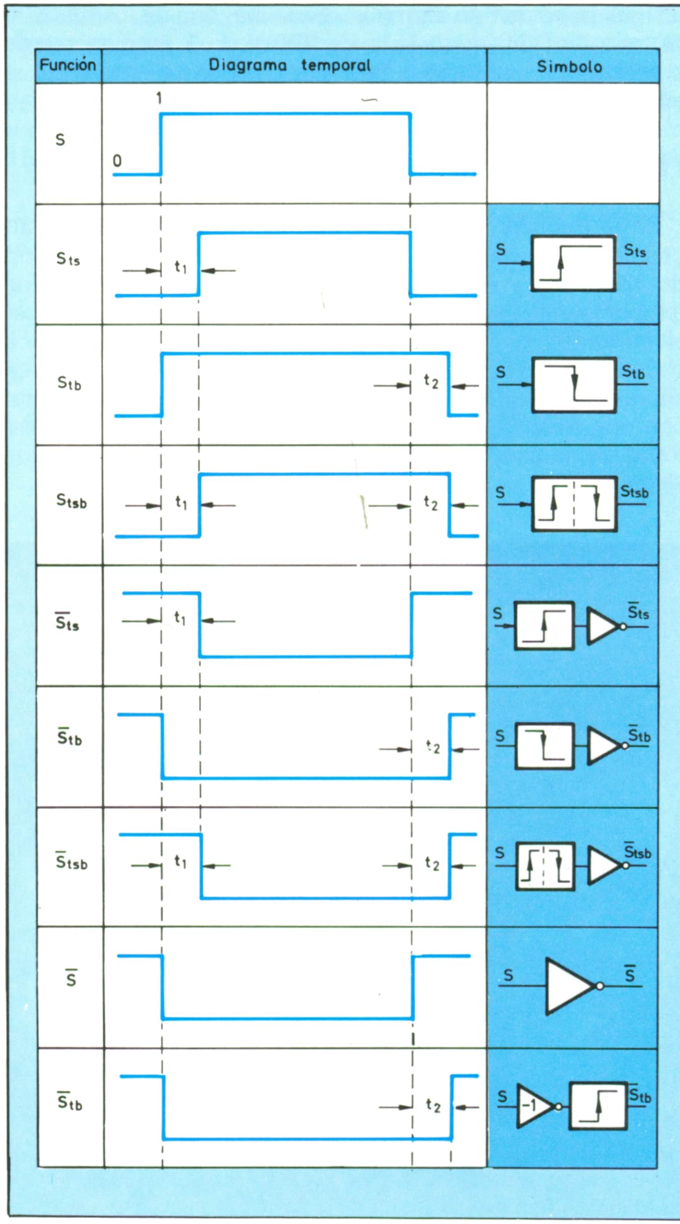


Figura 32. Posibilidades de temporización, todas ellas basadas con relación a un escalón de tensión aplicado a la entrada del circuito.

Dentro de los temporizadores electrónicos podemos hacer dos divisiones: los analógicos y los digitales. No obstante, esta división puede quedar diluida en algunos casos, ya que es usual encontrar circuitos integrados temporizadores que utilizan las dos técnicas a un mismo tiempo.

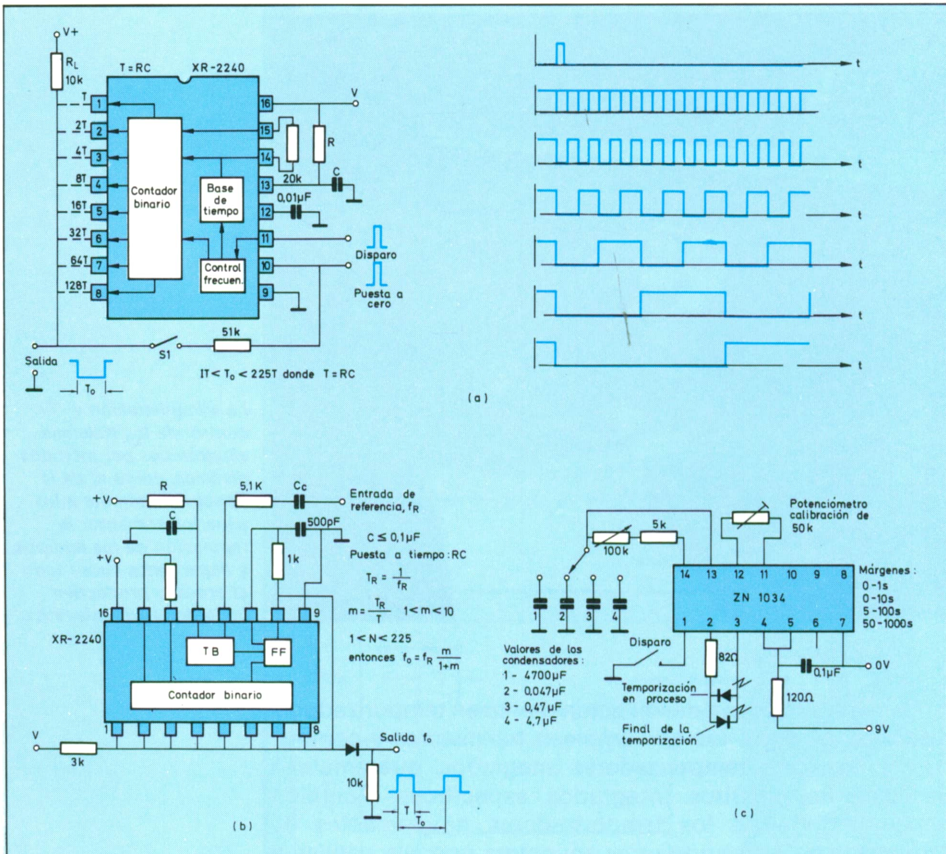


La administración y control de los sistemas electrónicos por métodos diversos, como el de la Spectrum, permite a los usuarios comenzar la regulación de los equipos, y llegar hasta cubrir todo el proceso productivo, incluido el administrativo.

También se podrían dividir actualmente en temporizadores discretos, es decir, los que emplean transistores y componentes pasivos y temporizadores integrados, que emplean básicamente circuitos integrados específicos. También tienen importancia los temporizadores programables de forma externa realizando unos «puentes» con sus patillas o los programables mediante programa utilizando microprocesadores. La división por su precisión o por el tiempo de temporización sería otra. Como vemos, la clasificación es difícil al tener solapamientos entre las distintas divisiones. Por ello simplemente escogeremos una de ellas: analógicos y digitales.

Temporizadores con contador interno; a) Temporizador programable y diagrama de tiempos;

Básicamente los temporizadores analógicos utilizan redes integradoras RC junto con circuitos activos semiconductores. Estos circuitos activos pueden ser transistores pero actualmente han cobrado importancia los amplificadores operacionales, de transconductancia variable y programables. Los



b) temporizador para la síntesis de frecuencias; c) Temporizador de cuatro décadas.

elementos semiconductores de potencia (tiristores y triacs) también se utilizan como temporizadores de poca precisión (figura 29). Sea del tipo que sea, las nueve posibilidades básicas de temporización se muestran en la figura 32.

Actualmente los circuitos realizados con transistores de efecto de campo (FET), que en su momento representaron un gran avance respecto a los circuitos con transistores bipolares debido a su más alta impedancia de puerta, como por ejemplo el de la figura 35 ya no constituyen una buena referencia para realizar un diseño con temporizadores.

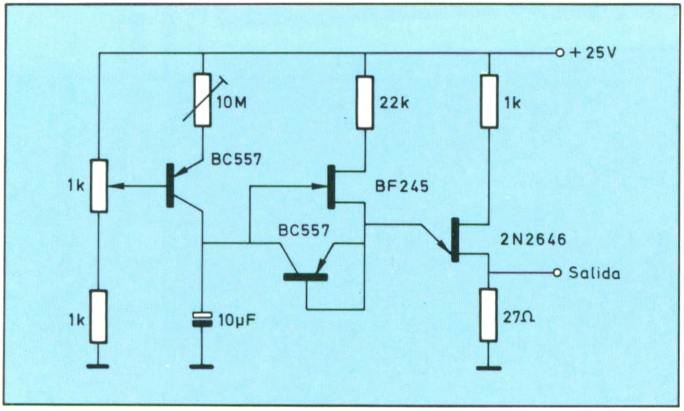


Figura 35. Temporizador analógico de larga duración ajustable hasta 10 horas. La regulación viene determinada por la conducción del primer transistor, al variar la resistencia de entrada y la carga.

Hoy en día, los circuitos integrados específicos de temporización tienen muchas más ventajas, aunque internamente sigan los principios antes seguidos por los circuitos discretos.

Para describir algunos temporizadores veamos la figura 36, en ella se muestran tres circuitos básicas para realizar tres de las varias temporizaciones de la figura 32. Estos circuitos son de poca precisión y larga duración. Son, como siempre, redes integradoras junto a elementos activos. El principio de la temporización del circuito de la figura 36*a* estriba en la carga del condensador *C* a través de la resistencia *R* desde una fuente de alimentación *E* cuando el interruptor *I* está cerrado. Cuando éste se abre, el condensador se descarga a través de la resistencia que le ofrece la entrada de la puerta lógica. Por tanto, cuando el interruptor está cerrado (flanco de subida de la señal *S*) la temporización dependerá del producto $R \times C$, mientras que cuando el interruptor está abierto la temporización depende del

producto $R_1 \times C$, siendo R_1 la resistencia de la entrada de la puerta. En este circuito se da una temporización tanto en la subida como en la bajada de la forma de onda de disparo. La figura 36*b* da una temporización en la subida de la señal de salida de una puerta lógica. En este caso, el diodo *D* se coloca para evitar que el condensador se descargue a través de la resistencia *R* y de la resistencia de salida de la primera puerta lógica, con el fin de anular la temporización en la desconexión.

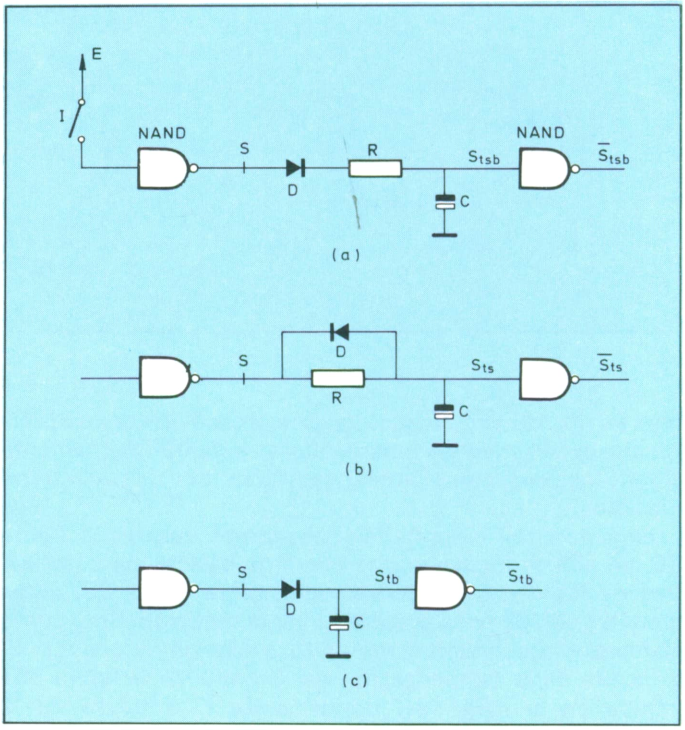
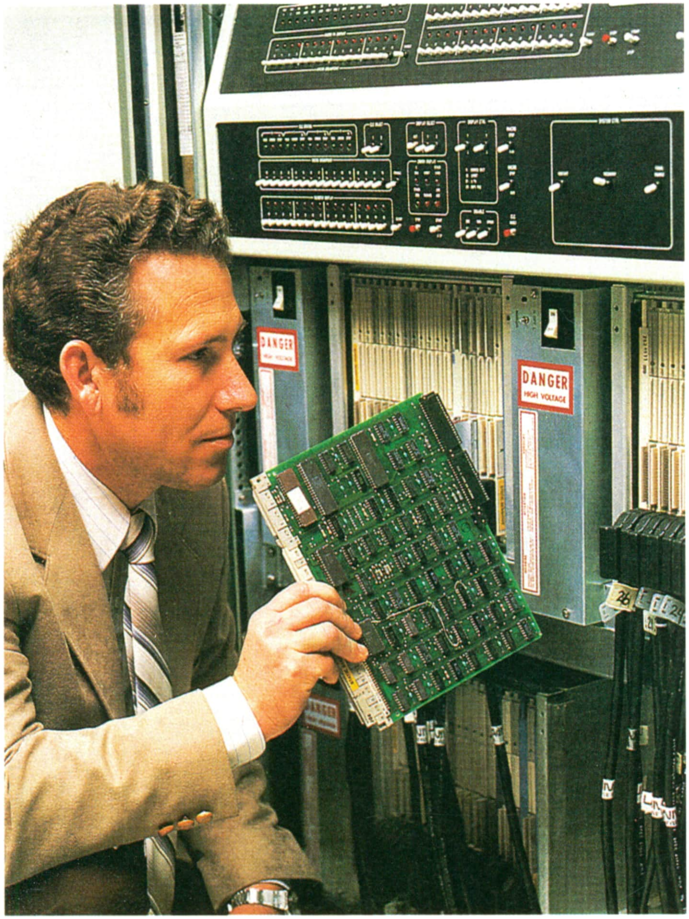


Figura 36. Diferentes circuitos para obtener algunas de las temporizaciones de la figura 32; a) $\bar{S}_{tsb}$; b) $\bar{S}_{ts}$; c) $\bar{S}_{tb}$.

La temporización en la subida se lleva a cabo a través de la resistencia *R* y no influye para nada el diodo *D* al estar polarizado en sentido inverso. Pero cuando tiene lugar la bajada de la señal *S*, es decir, cuando ésta conmuta su

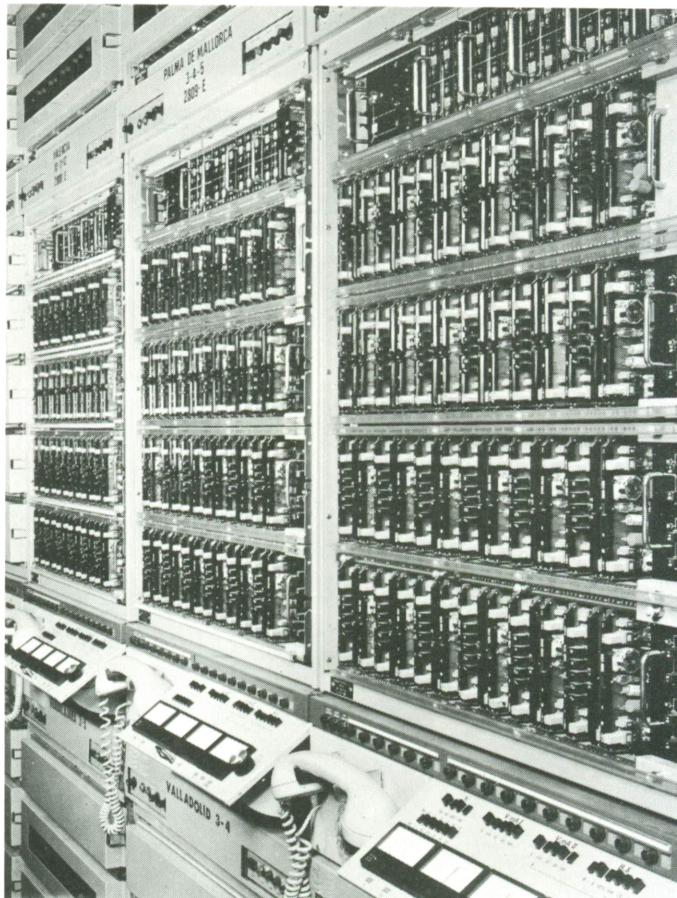
nivel lógico 1 al 0, el condensador se descarga rápidamente a través del diodo, que ahora está polarizado en sentido directo, y de la resistencia de salida de la puerta lógica. La figura 36*c* presenta el caso en el que sólo se desea



Los centros de computadoras controlan un buen número de equipos y desarrollan gran variedad de funciones; ello exige una cuidadosa revisión periódica de las cartas o tarjetas de circuito impreso, capaces de efectuar las temporizaciones, controles y la regulación.

temporizar la bajada de la señal *S*. En este caso la carga del condensador a través del diodo es muy rápida, por lo que no existe temporización en la salida. Pero cuando la salida de la

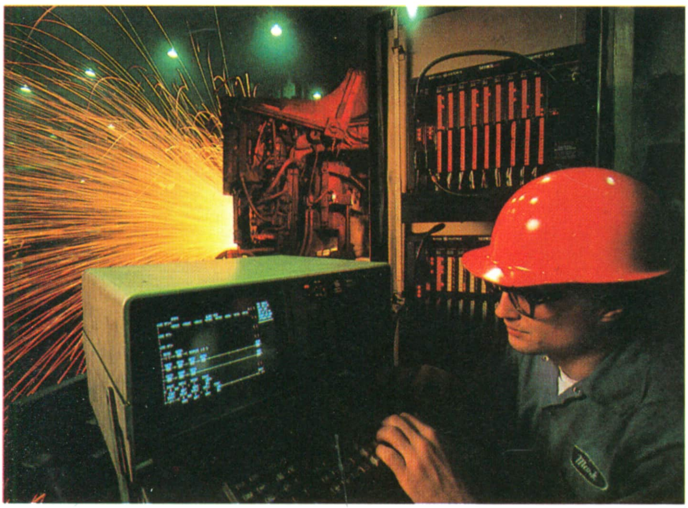
unidad lógica conmuta de 1 a 0, el condensador no puede descargarse a través del diodo por estar éste polarizado inversamente, por lo que debe hacerlo lentamente a través de la resistencia de entrada de la segunda unidad lógica.



Central telefónica. Las centrales telefónicas incorporan una gran cantidad de relés electromagnéticos; son tan clásicos, que incluso han dado pie a una nueva denominación: «relés telefónicos». Sin embargo, las más modernas centrales, utilizan relés estáticos a base de semiconductores. No obstante, el proceso de renovación, de centrales telefónicas convencionales con relés, a las electrónicas, llevará todavía unos cuantos años.

Para realizar circuitos temporizadores de gran duración con una precisión aceptable se necesitan circuitos algo más complejos, pero basados en el mismo principio de carga y

descarga de un condensador a través de una resistencia. Los circuitos detallados anteriormente tenían bastantes defectos debido a que las tensiones de alimentación no estaban previamente estabilizadas. Por tanto no se pueden obtener curvas de carga y descarga constantes en los condensadores debido a las variaciones de dicha tensión y a que las conmutaciones se realizan según una curva de tensión creciente o decreciente, y no bruscamente como sería de desear.

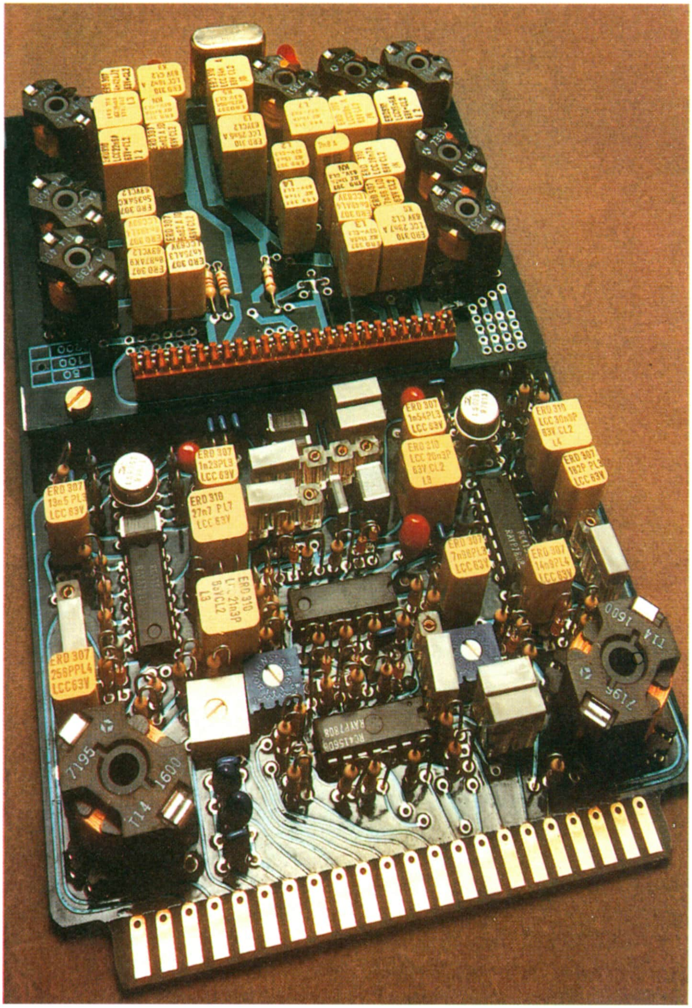


La moderna industria electrónica se gobierna mediante computadores, los cuales, mediante sondas y transductores adecuados, acceden a todos los datos necesarios, para gobernar cualquier proceso industrial, aún en las condiciones más adversas. (Cortesía: General Electric).

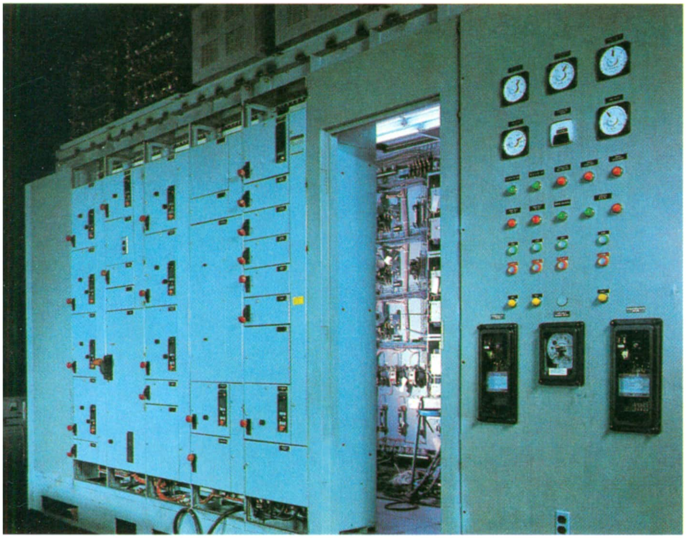
De todo lo expuesto se deduce que para obtener temporizaciones muy exactas, con tiempos de subida y bajada casi instantáneos, es necesario recurrir a circuitos temporizadores complejos englobando estabilizadores de tensión, comparadores con amplificadores operacionales, circuitos monoestables, biestables, astables, etc.

El circuito *monoestable* tiene sólo un estado permanente estable y un estado cuasiestable. El circuito *astable* es un oscilador de onda cuadrada, es la base para tener temporizaciones de forma digital junto con contadores digitales formados con circuitos biestables, llamados también básculas o *flip-flop*.

Un circuito *biestable* es aquel que puede estar indefinidamente en cualquiera de los dos estados estables y se le puede hacer cambiar de uno a otro mediante una señal de excitación externa. El circuito biestable se usa para realizar una gran cantidad de operaciones digitales, básicamente contar y almacenar señales binarias.



Tarjeta o placa de circuito impreso que trabaja como filtro de sonido para controlar algunos equipos de telefonía. (Cortesía: Thomson CSF.).



Complejo alimentador de potencia para la industria. Nótese la cantidad y variedad de instrumentos indicadores para regular el conjunto, así como los elementos de cada una de las secciones de salida.

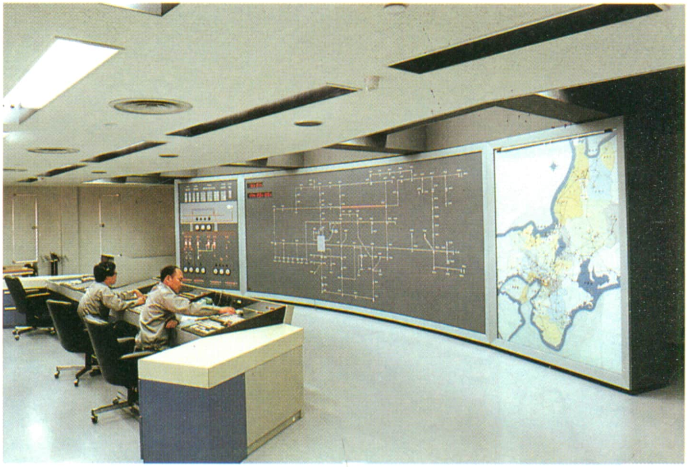
TEMPORIZADOR-RETARDADOR CON MEMORIA PARA MONTAJE EN FORMA DE KIT

Como hemos hecho en algún otro libro de la Enciclopedia de las «Nuevas Tecnologías», incluimos aquí un sencillo kit de montaje, para que los aficionados al bricolage puedan montar en casa un útil dispositivo de muy variadas aplicaciones.

Aunque se suministran prácticamente todos los datos de montaje, sugerimos al lector interesado adquirir dicho kit en los establecimientos del ramo. Se trata del SK-9 de la firma «Sales Kit», si bien existen montajes muy parecidos a éste, fabricados y comercializados por firmas distintas.

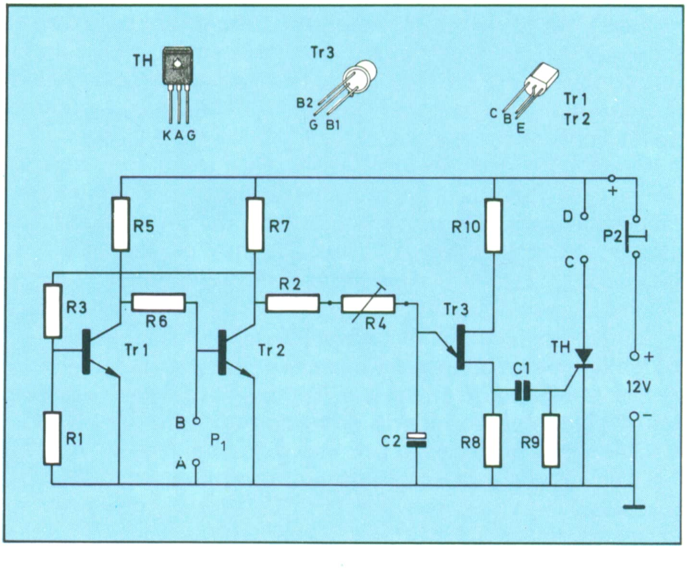
Un complemento habitual de los dispositivos automáticos lo constituyen los dispositivos capaces de «almacenar» una orden de puesta en marcha y hacerla aparecer al cabo de un tiempo prefijado de antemano. También se puede pretender introducir un cierto retardo entre dos operaciones efectuadas de modo automático por una máquina.

La aplicación de este tipo de circuitos puede ser industrial: programadores de secuencias, contactores de motores, prensas, cizallas, etc.



La señalización es fundamental en las comunicaciones; por ello, deben colocarse en las salas «dispatching» los dispositivos de control y de regulación adecuados para cada tipo de sistema.

Otras aplicaciones más típicas para el aficionado son el disparo de cámaras fotográficas o cinematográficas, cierres retardados de puertas de garaje, retraso de disparo en alarmas, etc.



Esquema teórico del circuito temporizador SK-9, en el que intervienen dos transistores bipolares, un transistor uni-unión y un tiristor.

Este circuito concreto almacena una información por el hecho de pulsar un interruptor y, transcurrido un espacio de tiempo que puede llegar hasta un máximo de 100 segundos, puede actuar sobre un circuito o dispositivo de aplicación.

Las características que pueden llegar a definir su modo de trabajo son:

Tensión de funcionamiento de	6 a 20 Vcc
Consumo de corriente en reposo a 12 V	15 mA
Consumo en el tiempo de retardo	5 mA
Máximo consumo de corriente admisible como carga	1,5 A
Caída de tensión en el tiristor	400 mV
Tiempo de retardo	3 a 100 s



Cuadro o panel de control, dotado de microprocesadores, para llamadas de clientes, documentación, archivos, regulación de la entrada de personal en las empresas, etc. (Cortesía: Hengstler).

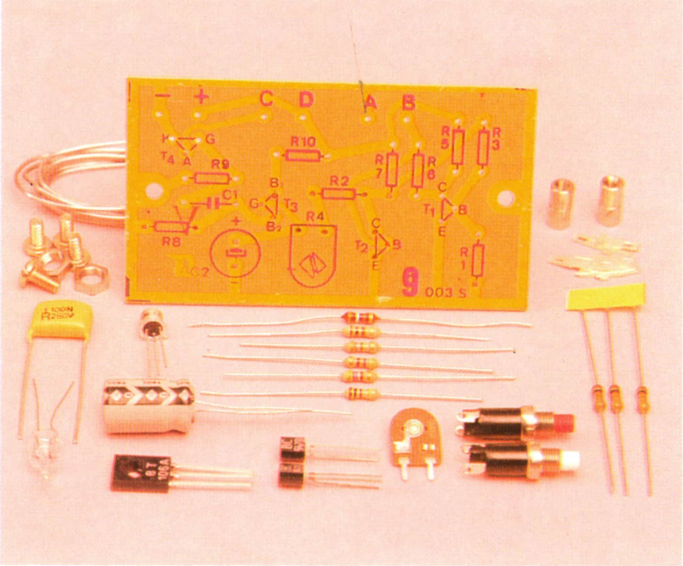
Descripción del circuito

Para entender mejor el comportamiento de este circuito temporizador, a la vista del esquema teórico, puede considerarse formado por tres secciones bien diferenciadas: unidad de memoria, generador de impulsos y relé electrónico de enclavamiento. Veámoslas por separado.

Unidad de memoria

La forman los transistores Tr1 y Tr2. Al conectar la alimentación, Tr2 entra en conducción por estar polarizada su base a través de R_5 y R_6, lo que equivale a un valor lógico «0» o «bajo de tensión».

Al accionar el pulsador P_1 queda bloqueado momentáneamente Tr2, con lo que su colector quedará a un nivel «alto de tensión», aparecerá en dicho punto un «1» lógico de modo que el transistor Tr1 entrará en conducción a través de la tensión recibida desde R_3. Con un valor «0» en el colector de Tr1 mantendrá bloqueado Tr2, asegurándose permanentemente un «1» en el colector de este transistor aunque se accione de nuevo P_1.



Despiece de los elementos del temporizador en forma de Kit, modelo SK-9. Incluye también separadores y tornillería para fijar el circuito impreso.

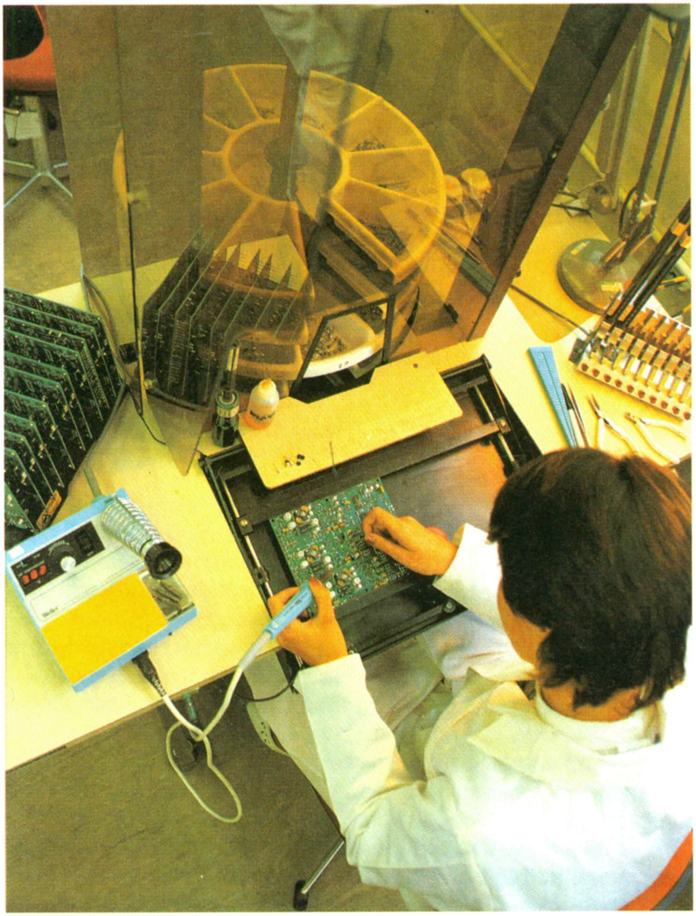
Desconectando un instante la tensión de alimentación se desactivará la memoria, apareciendo un «0» en el colector de Tr2 y borrándose el «1» mantenido en la memoria.

Generador de impulsos

Lo constituye el transistor uniunión Tr3, montado como oscilador de relajación de muy baja frecuencia.

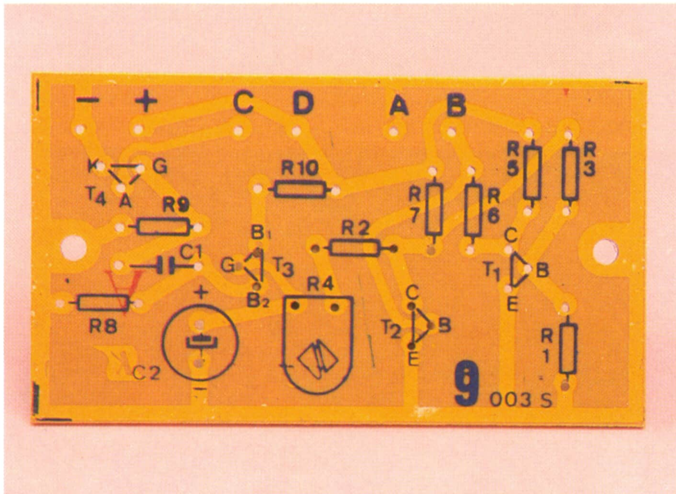
En el instante de accionar el pulsador P_1 aparece (y se mantiene) el «1» en el colector de Tr2. El condensador C_2 va cargándose lentamente a través de R_2 y R_4. El tiempo de carga dependerá de la posición del cursor de R_4.

Una vez alcanzado el potencial de disparo en el emisor de Tr3, con un valor aproximado de unos 9 V, dicho transistor entra en conducción durante un intervalo reducido de tiempo. Esta fluctuación instantánea de corriente provoca la



En los montajes electrónicos deben emplearse las herramientas adecuadas, y entre ellas, el soldador es una de las más importantes, ya que aplicar poco calor supone una soldadura falsa, y un exceso puede deteriorar los componentes.

aparición de un impulso de tensión que se diferencia mediante C_1 y R_9 y se aplica posteriormente a la *puerta* del tiristor TH.



Serigrafía de todos los componentes que van localizados sobre la placa de circuito impreso del Kit de montaje SK-9.

Relé electrónico

Lo forma el tiristor, que actúa como un relé con enclavamiento; este componente entrará en conducción cuando la *puerta* reciba un impulso adecuado y permanecerá en conducción hasta que, accionando P_2 se interrumpa la alimentación que da lugar a que se descebe el tiristor.

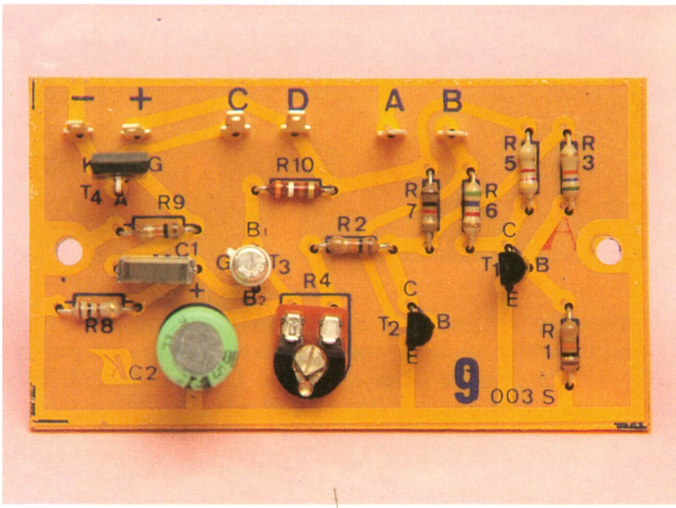
Es importante prestar atención al aspecto físico que presentan los transistores y el tiristor, según puede verse en las representaciones que acompañan al esquema teórico

Montaje del temporizador

Una vez identificados todos los componentes, puede pasarse a colocarlos sobre la placa de circuito impreso, prestando atención especial a los semiconductores.

Resistencias

R_1	10 kΩ	R_6	5k6 Ω
R_2	10 kΩ	R_7	1k Ω
R_3	56 kΩ	R_8	100 Ω
R_4	250 kΩ	R_9	10 kΩ
R_5	4k7 Ω	R_{10}	390 Ω



Componentes del kit SK-9, ya montados sobre el circuito impreso; faltan los pulsadores, la lamparita y el circuito de alimentación.

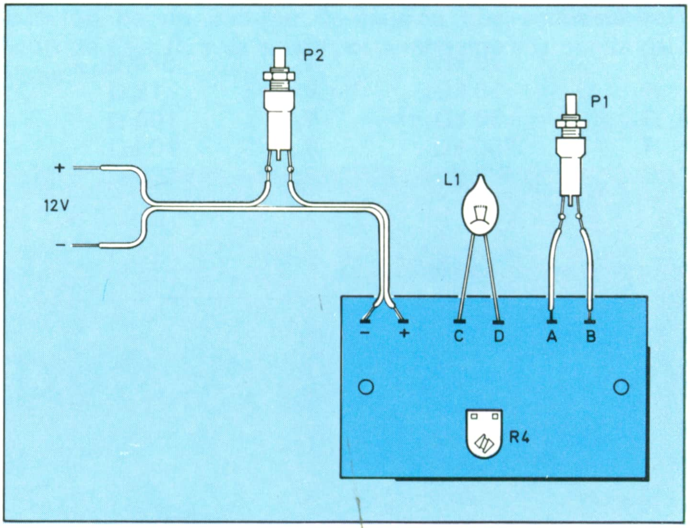
Condensadores

C_1	100 kpF
C_2	100 μF

No hay que olvidar que el exceso de calor en la soldadura puede llegar a deteriorar los semiconductores.

La puesta a punto final debe hacerse colocando un pulsador P_1 entre los terminales *A* y *B*, una lamparita entre *C* y *D* y un pulsador P_2 en serie con la alimentación de 12 V.

El cursor de la resistencia R_4 debe situarse con el tope hacia la izquierda. Accionando P_1 la lamparita no lucirá hasta transcurridos 3 a 5 segundos. El apagado tiene lugar accionando P_2.



Acabado del kit SK-9, después de adaptarle P_1, P_2, L_1 y el circuito de alimentación. Se destaca el punto de ajuste, mediante R_4.

Retocando la posición de R_4 se consigue el tiempo deseado, incluso un valor distinto sustituyendo este potenciómetro por otro de valor diferente. Empleando 250 K la temporización es de 3 a 100 segundos.

Nota del Editor:

Aunque esporádicamente incluyamos algún que otro kit de montaje en esta Enciclopedia, no es nuestra intención condicionar al lector a adquirir una marca concreta de kits en los establecimientos del ramo.

Como dijimos en la página 55, existen en nuestro país diversas marcas comerciales de kits que incluyen en sus catálogos gran profusión de temporizadores electrónicos de aplicación doméstica o industrial.

Aunque el lector podrá realizar el montaje con los datos que suministramos, es siempre aconsejable recurrir a alguno de los kits comerciales, pues tienen la ventaja de estar verificados, y facilitar enormemente el trabajo del aficionado, el cual no debe preocuparse de buscar este o aquel componente, lo que en ocasiones le obliga a un interminable «peregrinaje» por establecimientos de componentes electrónicos.